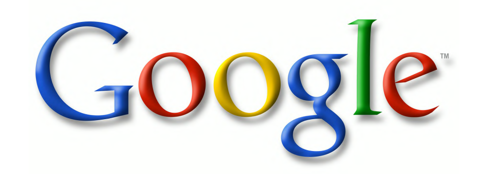
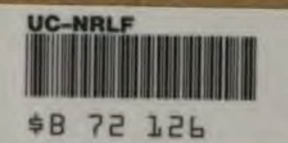
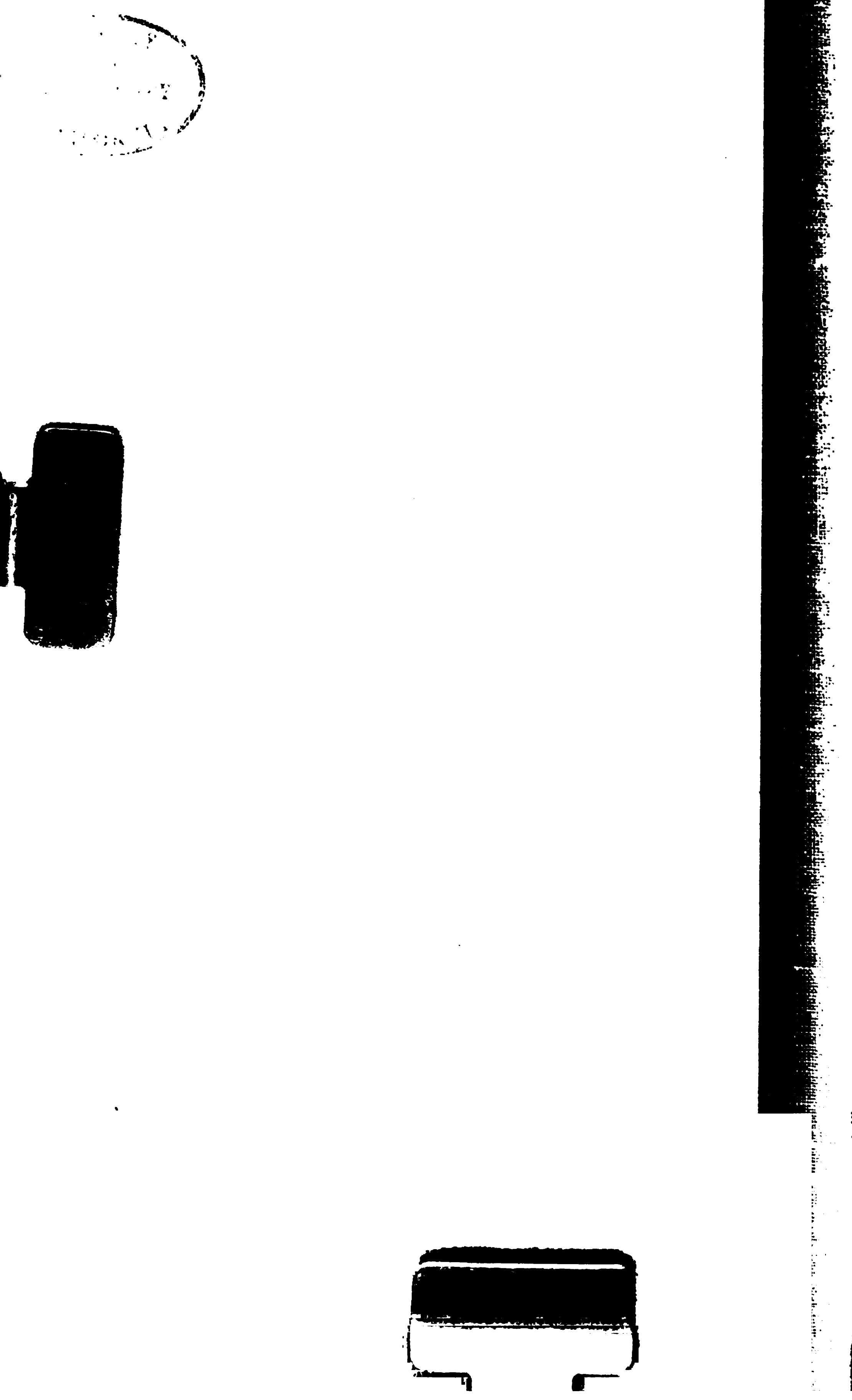



UC-NRLF
$B 72 126







F. MARGUET

LIEUTENANT DE VAISSEAU, PROFESSEUR A L'ÉCOLE NAVALE

HISTOIRE

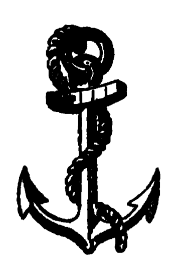
DE LA

LONGITUDE A LA MER

AU XVIIIe SIÈCLE, EN FRANCE

Etude couronnée par l'Académie des Sciences

(Prix Binoux : Histoire des Sciences)



PARIS

Augustin CHALLAMEL, Éditeur

Rue Jacob, 17

Librairie Maritime et Coloniale

—

1917

HISTOIRE

DE LA

LONGITUDE A LA MER

F. MARGUET

LIEUTENANT DE VAISSEAU, PROFESSEUR A L'ÉCOLE NAVALE

HISTOIRE

DE LA

LONGITUDE A LA MER

AU XVIII[e] SIÈCLE, EN FRANCE

Etude couronnée par l'Académie des Sciences.

(PRIX BINOUX : HISTOIRE DES SCIENCES)



PARIS

AUGUSTIN CHALLAMEL, ÉDITEUR

RUE JACOB, 17

Librairie Maritime et Coloniale

—

1917

A LA MÉMOIRE DU CAPITAINE DE FRÉGATE

E. GUYOU

MEMBRE DE L'INSTITUT ET DU BUREAU DES LONGITUDES

BIBLIOGRAPHIE

Collections scientifiques. — *Encyclopédie méthodique* : partie Marine. Paris, 1783-87. — *Histoire et Mémoires de l'Académie des Sciences.* — *Mémoires des Savants étrangers.* — *Mémoires de l'Institut.* Classe de mathématiques et physique. — *Prix de l'Académie des Sciences.* — GALLON : *Machines et Inventions approuvées par l'Académie.* Paris. — *Connaissance des Temps.* — *Nautical Almanac.* — *Instructions nautiques* et *Cartes* du Dépôt de la Marine.

Traités généraux. — RADOUAY : *Remarques sur la Navigation.* Paris, 1727. — BOUGUER : *Nouveau Traité de Navigation.* Paris, 1753. — BOUGUER : *Traité complet de Navigation.* Paris, 1781. — PÉZENAS : *Astronomie des Marins.* Avignon, 1766. — PÉZENAS : *Histoire critique de la découverte de la Longitude.* Avignon, 1775. — COUBARD et LEMONNIER : *Abrégé de Pilotage.* Paris, 1766. — ROBERTSON : *Elements of Navigation.* Londres, 1780. — BEZOUT : *Cours de Mathématiques.* Paris, 1781. — GAIGNEUR : *Le Pilote instruit.* Nantes, 1781. — J. LALANDE : *Abrégé de Navigation.* Paris, 1793. — MONTUCLA : *Histoire des Mathématiques.* Tome IV. Paris, 1802. — ROSSEL : *Traité de Navigation de Bezout*, avec notes. Paris, 1814. — GUÉPRATTE : *Traité de Navigation.* — GUÉPRATTE : *Vade-Mecum du Marin.* Brest. — DELAMBRE : *Histoire de l'Astronomie.* Paris, 1819-27. — POGGENDORF : *Histoire de la Physique.* Paris, 1883.

Les Origines. — CHARTON : *Voyageurs anciens et modernes* (*Journal du voyage de Gama*). Paris, 1869. — HUMBOLDT : *Examen critique de l'Histoire de la découverte du Nouveau Continent.* Paris, 1836. — BIRCH : *The History of the Royal Society.* Londres, 1756-57. — *Mémoires de l'Académie de Berlin pour* 1749. — *Philosophical Transactions* pour 1742. — FORBIN : *Mémoires.* Amsterdam, 1748.

La Longitude estimée. — Frézier : *Relation d'un voyage dans la Mer du Sud, de 1712 à 1714*. Paris, 1716. — Chabert : *Voyage en 1750 et 1751 dans l'Amérique septentrionale*. Paris, 1753. — Morris : *Journal du bailli de Suffren dans l'Inde*. Paris, 1888. — *Histoire des Naufrages*, par D**. Paris, 1790. — F. Marguet : *Le Point à la Mer. La Connaissance des Temps*. (Revue Générale des Sciences, 1910 et 1912).

Les Progrès de l'estime et la Mécométrie de l'Aimant. — Savérien : *L'art de mesurer le sillage du Vaisseau*. Paris, 1750. — De Gaulle : *Nouveau Compas azimutal à réflexion*. Le Havre, 1779. — Guillaume le Nautonnier : *Mécométrie de l'Aymant*, 1603. — Dounod, de Bar-le-Duc : *Confutation de l'invention des Longitudes*. Paris, 1611. — Lemonnier : *Loix du Magnétisme*. Paris, 1776. — Buffon : *Histoire des Minéraux*. Tome IV. Paris, 1788.

Les Eclipses des Satellites de Jupiter. — Rochon : *Opuscules mathématiques*. Brest, 1768.

Les Horloges marines. — Sully : *Description d'une Horloge d'une nouvelle invention*. Paris, 1726. — *Principes de la Montre de Harrison*, imprimés à Londres en 1767. Avignon. — F. Berthoud : *Traité des Horloges marines*, Paris, 1773. *Eclaircissements sur les machines à Longitude sur Mer*, Paris, 1773. *Histoire de la Mesure du Temps par les Horloges*, Paris, 1802. *Supplément au Traité des Montres à Longitudes*, Paris, 1807. *La Mesure du Temps*, Paris, 1787. — Courtanvaux : *Journal du Voyage de « l'Aurore »*, Paris, 1768. — Cassini : *Voyage fait en 1768 pour éprouver les Montres de Le Roy*, Paris, 1770. Contient le *Mémoire* de Le Roy sur la meilleure manière de mesurer le temps en mer. — Fleurieu : *Voyage fait en 1768 et 1769 pour éprouver les Montres de F. Berthoud*, Paris, 1773. — Verdun de la Crène : *Voyage fait par ordre du Roi en 1771-1772*, Paris, 1778. — Chappe : *Voyage en Californie* ; rédigé par Cassini le fils, Paris, 1772. — Le Roy : *Précis des recherches faites en France depuis 1730 pour déterminer la Longitude à la Mer par la mesure artificielle du Temps*, Amsterdam, 1773. Suite du *Précis*, etc., Leyde, 1774. — Saunier : *Traité d'Horlogerie*, Paris, 1872.

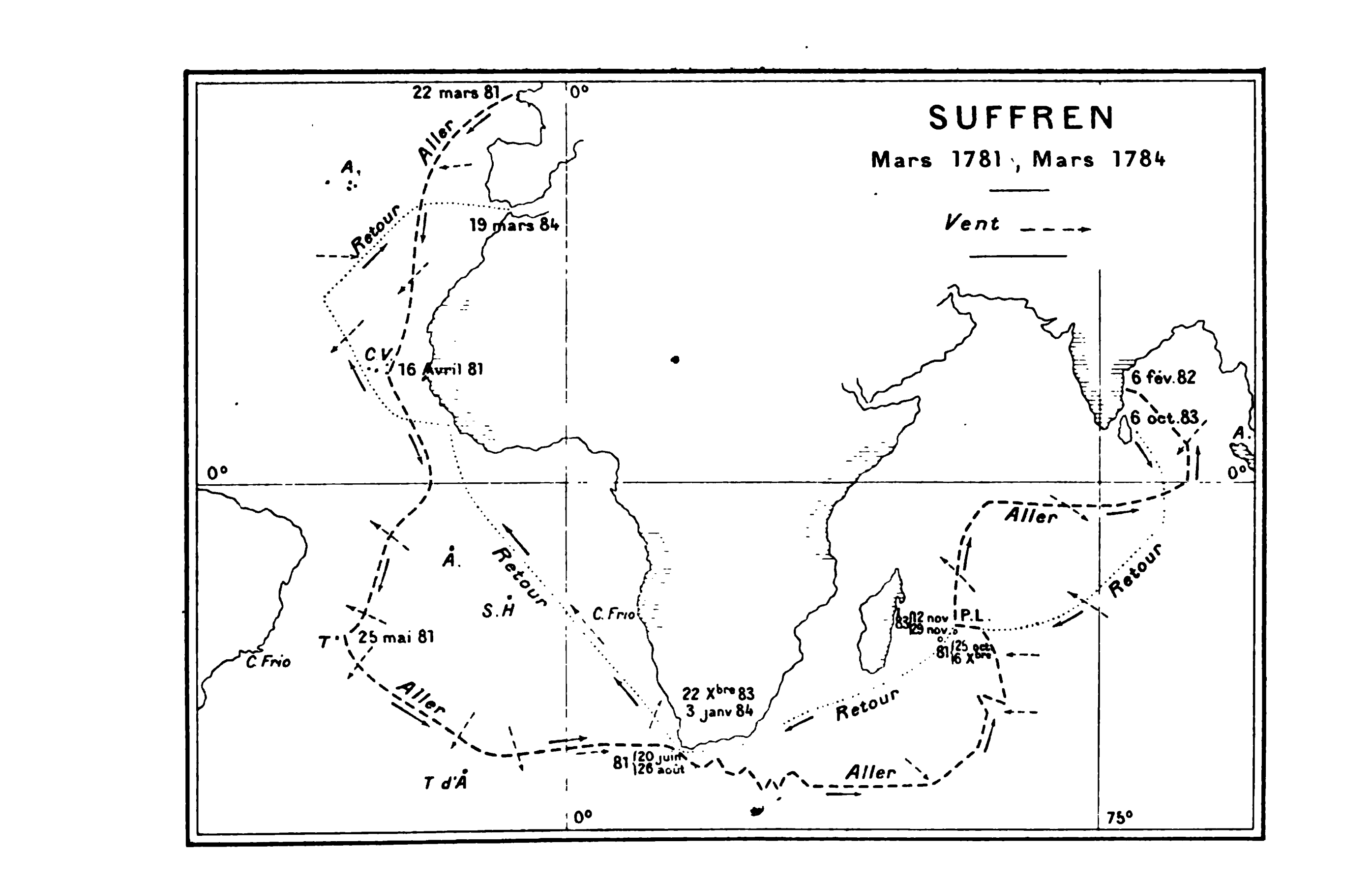
La Lune. — Lemonnier : *Observations de la Lune, du Soleil et des Etoiles*, Paris, 1751-1773. — *Tables astronomiques* publiées par le Bureau des Longitudes de France, Paris, 1806. — Burckhardt : *Tables de la Lune*, Paris, 1812. — D'Après de Mannevillette : *Le nouveau quartier anglais*, Paris, 1739. — Bory : *Description du nouveau quartier anglais*, Paris, 1751. — *Mémoires rédigés à l'Observatoire de Marseille*, Avignon, 1755. — *Philosophical transactions* pour 1732. — Magellan : *Description des octants et sextants anglais*, Paris, 1775. — *Le « Sextant double » de Rowland*, Londres. — Borda : *Description du Cercle de réflexion*, Paris, éd. 1816. — Charnières : *Traité et pratique des Longitudes à la Mer*, Paris, 1772. *Expériences*

sur les Longitudes faites en Mer en 1767-1768, Paris, 1768. — ROCHON : *Recueil de Mémoires sur la Mécanique et la Physique*, Paris, 1783. — PINGRÉ : *Etat du Ciel pour* 1755, Paris. — LA CAILLE : *Journal historique du voyage au cap de Bonne-Espérance*, Paris, 1763. — D'APRÈS DE MANNEVILLETTE : *Neptune oriental*, Paris et Brest, 1775. — MENDOZA : *Memoria sobra algunos metodos de calcular la Longitud*, Madrid, 1795. — *Principales Tables de Mendoza*, Paris, 1842. — LALANDE : *Astronomie*. Tome III, 3e édition, Paris. — LAGRANGE : *Œuvres*, par SERRET. Tome VII, Paris, 1877. — DE LA COUDRAYE : *Dissertation sur l'Observation de la Longitude*, Bordeaux, 1785. — SHEPERD : *Tables for correcting the apparent distances of the moon and stars*, Cambridge, 1772. — *Tables et Instructions* propres à la détermination des longitudes en mer, pour l'année 1773, publiées par l'Académie de Marine, Brest, 1772. — LEVÊQUE : *Tables générales de la Hauteur et de la Longitude du Nonagésime*, Avignon, 1776. — MAINGON : *Mémoire contenant des explications sur une Carte trigonométrique, etc.*, Paris, 1798 (an VII). — PINGRÉ : *Voyage à Rodrigue* (manuscrit du Dépôt des Cartes et Plans, portefeuille 35, pièce 6.) — LE GENTIL : *Voyage dans les Mers de l'Inde*. Paris, 1779. — GRENIER : *Mémoire sur la Campagne de découvertes dans la Mer des Indes*, Brest, 1770. — ROCHON : *Voyage aux Indes orientales*, Paris, 1807. — DE TERSAC : *Journal* (manuscrit). — LEDIEU : *Nouvelles Méthodes de Navigation*, Paris, 1877. — GUYOU : Les distances lunaires, *Revue Maritime*, 1902.

La Longitude et les Marins. — *Mémoires manuscrits de l'Académie de Marine*. Brest. — *Instructions* auxquelles devront se conformer les officiers chargés des montres, Paris, 1815. — Louis BERTHOUD : *Entretiens sur l'Horlogerie*. Paris, 1812. — DONEAUD DU PLAN : *Histoire de l'Académie de Marine*. Paris, 1878. — ROLLET DE L'ISLE : Historique du Service chronométrique au Service Hydrographique. *Revue Maritime*, 1888.

La Géographie et la découverte du Pacifique. — BORDA : *Voyage aux Canaries sur la « Boussole », en* 1776. (Manuscrit du Dépôt de la Marine). — CHASTENET-PUYSÉGUR : *Pilote de Saint-Domingue*. Paris, 1787. — ROUSSIN : *Pilote du Brésil*. Paris, 1827. — KERGUELEN : *Relations de deux voyages dans les Mers australes et des Indes, en* 1771 *et* 1774. Paris, 1782. — BEAUTEMPS-BEAUPRÉ : *Exposé des travaux de la reconnaissance de la Côte occidentale de France*, Paris, 1829. — GAUTTIER : *Positions géographiques déterminées en Méditerranée de* 1816 *à* 1818. Paris, 1821. — BELLIN : *Petit Atlas maritime*. Paris, 1764. — DE L'ISLE et BUACHE : *Explication de la Carte des nouvelles découvertes au nord de la Mer du Sud*. Paris, 1752-1753. — ROCHON : *Relation d'un voyage dans la Mer du Sud, en* 1771-1772, par *Marion, etc.* Paris, an VIII. — HAWKESWORTH : *Relation des voyages entrepris par ordre de Sa Majesté Britannique* (traduction). Paris, 1774. — *Troisième voyage de Cook*, traduit par M. D**, Paris, 1785. — BOUGAINVILLE : *Voyage autour du Monde en* 1766-1769. Paris, 1771. — MILET-MUREAU : *Voyage de Lapérouse*

autour du Monde. Paris, 1797. — DE ROSSEL et BEAUTEMPS-BEAUPRÉ : *Voyage de Dentrecasteaux*. Paris, 1807-1808. — CLARET-FLEURIEU : *Voyage autour du Monde de Marchand*. Paris, an VI-VIII. — BAUDIN : *Voyage de découvertes aux terres australes en* 1800-1804. Paris, 1811-1816. — FREYCINET : *Voyage autour du Monde sur l'* « *Uranie* » *et la* « *Physicienne* », *de* 1817 *à* 1820. Paris, 1826. — DUPERREY : *Voyage autour du Monde sur la* « *Coquille* » *en* 1822-1825. Paris, 1826-1830. — BOUGAINVILLE : *Journal de Navigation de la* « *Thétis* » *et de* « *l'Espérance* ». Paris, 1837. — DUMONT-D'URVILLE : *Voyage de la corvette* « *l'Astrolabe* », *en* 1826-1829. Paris, 1830-1833.


SUFFREN
Mars 1781 , Mars 1784
Vent
22 mars 81
Aller
Retour
19 mars 84
C.V.
16 Avril 81
A.
S.H
C. Frio
T
25 mai 81
T d'A
81 20 juin 26 août
22 X^bre 83
3 janv 84
P.L.
83 12 nov 29 nov.
81 25 oct. 16 X^bre
6 fév. 82
6 oct. 83
0°
75°

HISTOIRE DE LA LONGITUDE A LA MER

AU XVIII[e] SIÈCLE, EN FRANCE

LES ORIGINES

On peut faire commencer la navigation hauturière, chez les Européens, aux grands voyages de découvertes qui ont amené la reconnaissance des Indes occidentales et orientales, c'est-à-dire à la fin tout à fait du xv[e] siècle. Du moins, c'est à partir de cette époque que les voyages au long cours ont été entrepris en grand nombre, d'une manière permanente. Les Portugais, qui avaient reconnu auparavant la côte d'Afrique, s'avançaient simplement le long de cette côte ; et, comme les îles de l'Ascension et de Sainte-Hélène n'ont été découvertes qu'en 1501 et 1502, nous ne pouvons affirmer avec certitude qu'ils la quittaient quelquefois au retour.

Ce n'est qu'avec Diaz, en 1486, que nous sommes sûrs d'avoir un exemple de navigation en haute mer. On sait en effet que, parvenu par 26° de latitude sud en longeant la terre, il fit alors route au large pendant plusieurs jours ; mais bientôt, l'état si particulier de la mer et de l'atmosphère à la rencontre des eaux du courant des Aiguilles, venant du canal de Mozambique, et du courant froid de l'Atlantique sud, l'avertit qu'il devait avoir dépassé l'extrémité de l'Afrique, et il remonta au nord, ayant doublé, sans le voir, le cap de Bonne-Espérance. Si l'Afrique, au lieu de se prolonger jusqu'à la latitude de 35° seulement, s'était avancée, comme l'Amérique, de 20° plus au sud, Diaz aurait sans doute entrepris, en prenant le large, le plus long des voyages hors la vue de la terre accomplis jusqu'à lui.

Christophe Colomb, en 1492, traversa l'Atlantique en 33 jours, du 9 septembre au 12 octobre, entre l'île de Fer et Guanahani. Mais le premier voyage de Vasco de Gama, cinq ans plus tard, paraît, au point de vue strictement maritime, beaucoup plus intéressant que tous ceux qui l'ont précédé. Nous n'avons pas, par des relations directes de membres de l'expédition, une connaissance absolument certaine de la route qu'il a suivie lorsque, après avoir quitté Santiago des îles du Cap Vert, il parcourut l'Atlantique sud pendant 93 jours avant d'atterrir à la baie de Sainte-Hélène, à deux degrés au nord du Cap de Bonne-Espérance. Mais le *Roteiro*, publié à Porto en 1838 par Costa Païva, permet, semble-t-il, de rétablir cette route avec une très forte probabilité, sinon avec certitude.

Gama quitta Santiago le 3 août 1497, et Velho, l'auteur présumé du *Routier*, parle d'abord de route à l'est. Le 18, ils s'estiment à 11 lieues seulement de leur point de départ ; et le 22, après 19 jours de mer, dont deux ont été employés à réparer une vergue de la capitane, ils pensent se trouver à 80 lieues au large. Ils font alors route au S. 1 /4 S.-O., c'est-à-dire à 11° à l'ouest du sud. La route à l'est doit d'abord nous arrêter. Gama, comme ses prédécesseurs, avait-il alors l'intention de longer la côte d'Afrique et chercha-t-il à la rallier ? Mais au mois d'août, la région des calmes équatoriaux remonte jusqu'au Cap Vert et la navigation de la flottille fut sans doute très lente au début. Nous avons relevé dans le *Journal du bord du bailli de Suffren* qu'à l'aller son escadre mit 20 jours à franchir la zone des vents variables, avec une vitesse moyenne de 38 milles par jour ; qu'au retour, pendant 14 jours, il ne fit que 25 milles par 24 heures, soit 2 kilomètres à l'heure, dans les mêmes conditions.

D'autre part, il est dit dans le *Roteiro* que Diaz « marchait de conserve avec eux jusqu'à Mina », point situé sur la Côte d'Ivoire. Or nous avons rappelé qu'en 1486 ce dernier avait quitté la côte d'Afrique avant le Cap. Il savait évidemment que le long de cette côte des vents debout régnaient en permanence, qui devaient les obliger à une navigation très longue et énervante ; et, puisqu'il

avait pris le large, onze ans plus tôt, il paraît naturel d'admettre qu'il ait conseillé à Gama de commencer à s'éloigner de terre dès le début de la traversée pour chercher, en plein Océan, des vents favorables, conduisant vite au but. Enfin le *Roteiro*, si attentif à noter les terres en vue, ne dit rien, jusqu'à la baie Sainte-Hélène, qui puisse faire supposer qu'ils s'étaient rapprochés d'un continent. Il ne contient rien en particulier qui indique qu'ils soient effectivement allés jusqu'à Mina.

Ne peut-on penser, par suite, qu'après quelques hésitations en faisant route à l'est, la décision de prendre le large fut enfin adoptée, hypothèse qui expliquerait la direction S. 1 /4 S.-O., alors qu'on n'était encore, après 19 jours de mer, qu'à 80 lieues de terre.

Est-il possible d'aller plus loin ? Si on prend pour date du départ de Gama celle du 18, on trouve qu'il a atterri à la baie Sainte-Hélène après 78 jours de route, durée absolument incompatible avec celle qu'exigerait le voyage le long des côtes de Guinée. Or, Dentrecasteaux, en 1791-1792, effectua avec des frégates le même voyage en 74 jours ; et Baudin, en 1800, avec des corvettes, le fit en 77. Ces durées, qui s'accordent exactement avec celles de la navigation de Gama, sont plus longues, par contre, que celles de la traversée ordinaire. C'est que Dentrecasteaux et Baudin ont obéi à l'impulsion instinctive d'aller trop à l'est pour passer l'Equateur. Mais, faire de l'est dans cette traversée et ne pas aller franchement au sud dès le départ des îles, pour couper l'Equateur par 25 ou 30° de longitude, et non par 17° ou 11°, comme l'ont fait Dentrecasteaux et Baudin, et descendre directement jusqu'au parallèle de 20° sud, c'est infailliblement allonger la durée du voyage, puisque, à proximité des côtes d'Afrique, on est d'abord dans les régions les plus sujettes aux calmes et ensuite dans la zone des alisés du S.-E. directement opposés à la route.

Gautier Schouten de Harlem raconte qu'en 1658, lors de son premier voyage à Batavia, un bâtiment qui marchait de conserve avec le sien perdit six semaines sur ce dernier, pour avoir fait route à 22°,5 à l'est de lui après le Cap Vert ; et Granpré rapporte

l'exemple d'un navire qui dut à la même erreur de rester 11 mois en route pour aller de France à la côte d'Angola par 12° de latitude sud. On peut donc aller jusqu'à penser que Gama commit la petite erreur de Dentrecasteaux et de Baudin. Toutefois, c'est par une intuition géniale qu'il changea sans doute sa route primitive et que, se lançant au milieu d'un océan tout à fait inconnu, il découvrit, dès la première traversée aux Indes orientales, à très peu près, la route qui devint classique après lui. Si on remarque qu'il la tentait sans avoir aucun renseignement sur le régime des vents qui règnent entre les îles de la Trinité et de Tristan d'Acunha à proximité desquelles on passe, et le sud de l'Afrique, et qu'il allait dans des parages où personne ne s'était encore risqué, on admirera sa magnifique audace, qui a si parfaitement réussi.

D'ailleurs, que ces inductions soient ou non exactes, l'itinéraire des successeurs de Gama n'est plus douteux. Cabral, en particulier, en 1500, afin d'éviter les calmes de la côte de Guinée, et les vents de S.-O. qui soufflent entre les caps Palma et San Lopez, et sur les conseils de Gama, paraît-il, alla tellement dans l'ouest, qu'il atterrit au Brésil, vers 10° de latitude sud, point d'où il gagna le cap de Bonne-Espérance.

Les grands voyages hauturiers étaient donc entrés dans la pratique de la navigation aux environs de l'année 1500. Mais, si, aujourd'hui même, la mer, parcourue et étudiée partout, impose au navigateur, qui doit se mettre à l'abri de ses surprises, une veille continuelle, on conçoit combien ces premiers hommes qui perdaient la terre de vue pour de longs jours, dans des conditions hygiéniques qui leur faisaient traverser de dures souffrances, devaient désirer des moyens de sauvegarder leurs vies et d'abréger leurs voyages.

Pour l'étude que nous désirons entreprendre, ces moyens comportent deux ordres de choses, très solidaires comme nous le verrons. Il faut : 1° que le marin soit capable de déterminer à chaque instant sa position à la surface des mers ; 2° qu'il ait à son usage des cartes côtières et océaniques exactes, afin d'y repérer sans erreur cette position.

Ainsi le problème du point à la mer, au large, a dû naître avec le long cours. C'était l'opinion des écrivains maritimes du XVIIIe siècle. Il devait se poser avec la navigation océanique ; tandis qu'il serait resté sans doute inexistant si la navigation avait continué à se borner aux mers intérieures. D'après Chabert, même à la fin du XVIIe siècle, on évitait autant que possible, en Méditerranée, de « faire canal », c'est-à-dire de perdre les terres de vue, et on naviguait encore dans cette mer en allant de cap en cap, sous la conduite de pilotes régionaux. De telles pratiques ne pouvaient évidemment en rien faire avancer la science de la conduite du navire.

Mais le problème du « point » comporte, lui aussi, deux recherches de difficultés très différentes. L'une est la détermination de la latitude ; l'autre, celle de la longitude. Or, de tout temps, les marins ont pu aisément trouver leur latitude par des observations méridiennes. Ils les firent d'abord à l' « anneau astronomique » ou à « l'astrolabe », imaginée au XIIIe siècle par Guillaume de Moerbeke, et qui était devenue d'un usage courant au XVe siècle ; plus tard, à l' « arbalestrille » inventée après 1300 par Léon le Juif (Léon de Bagnols). Il leur suffisait de tables des déclinaisons du soleil et de quelques autres astres. Il n'y avait donc aucune difficulté de ce côté.

Il n'en allait pas de même pour la longitude. Elle est égale à la différence des angles horaires ou des temps simultanés d'un même astre dans le lieu origine des longitudes et dans le lieu de l'observateur. Pour l'obtenir, il faut, par suite, trouver le moyen, étant en un lieu, d'avoir l'angle horaire d'un astre dans un autre lieu.

Aussitôt la question posée, dès le commencement du XVIe siècle, elle a été résolue en principe ; c'est-à-dire que les moyens qui, en fait, mais après plus de 250 ans de travaux, ont donné la solution cherchée, se sont présentés immédiatement à l'esprit des savants. On en trouve en effet l'indication dans les écrits des astronomes, des géographes et des navigateurs, dès la fin du XVe siècle. Humboldt pense que Colomb et Vespuce ont essayé d'employer les méthodes lunaires et les conjonctions des planètes, pendant le

cours de leurs voyages. Nous savons en tout cas que le 13 janvier 1493, à Haïti, Colomb cherchait un port sûr pour observer tranquillement la conjonction du soleil et de la lune et l'opposition de la lune et de Jupiter « qui, généralement, cause beaucoup de vent » ; et que Vespuce, le 23 août 1499, observa une conjonction de la lune et de Mars, prédite par Regimontanus pour minuit juste à Nuremberg. Il trouva que la lune faisait 1° par heure par rapport à Mars, et qu'elle en était à 5°,5 à l'est à minuit, d'où il conclut sa longitude de 82°,5 ouest. Ajoutons qu'en février et avril 1520, Andres de San-Martin, le pilote le plus instruit de Magellan, observa des conjonctions, d'après les conseils de Faleiro, qui avait écrit un traité des longitudes pour l'usage particulier de l'expédition.

Mais arrivons aux astronomes. En 1514, Werner, né à Nuremberg en 1468, dans sa *Géographie de Ptolémée*, parle de l'usage de la lune pour les longitudes à la mer ; Apian, né en 1495 à Leysmich en Misnie (Saxe), signale dans sa *Cosmographie* la méthode des distances de la lune aux étoiles. Il pense aussi que les éclipses de soleil seront le meilleur moyen d'avoir la différence des méridiens. Gemma Frison ou Frisius, mort en 1558, parle également des distances lunaires, vers 1530, dans son traité sur le *Ray astronomique et géométrique*. Et, d'autre part, Delambre cite de lui le curieux texte suivant qui prouve que l'idée de l'emploi des montres était aussi née à cette époque. Il s'agit d'une « Nouvelle invention pour les longitudes », où on relève ce qui suit : « On commence, dit-il, à se servir de petites horloges qu'on appelle montres. Leur légèreté permet de les transporter. Leur mouvement dure 24 heures et plus longtemps, pour peu qu'on les aide. Et elles offrent un moyen bien simple pour trouver la longitude. Avant de vous mettre en route, mettez soigneusement votre montre à l'heure du pays que vous allez quitter ; apportez toute votre attention à ce que la montre ne s'arrête pas en chemin. Quand vous aurez ainsi marché, prenez l'heure du lieu avec l'astrolabe, comparez cette heure à celle de votre montre, et vous aurez la différence de longitude. » Ces montres, d'après Berthoud,

avaient un ressort moteur et un échappement à roue de rencontre. Nous verrons ce que valait ce moyen à la mer 150 ans plus tard, avec des montres grandement perfectionnées relativement à celles dont il est ici question.

On retrouve de semblables idées chez beaucoup d'autres auteurs échelonnés dans le XVIe siècle et au commencement du XVIIe ; par exemple chez Vernier, chez Nonius, géographe portugais à qui on doit l'idée précise de la loxodromie; chez Métius, auteur de la valeur de π qui l'a fait connaître ; chez Longomontanus, élève et assistant de Tycho-Brahé à l'observatoire de Hween, où il réunit beaucoup d'observations de la lune ; enfin chez Képler.

L'un d'eux mérite une mention spéciale ; mais ses propositions ont attendu plus d'un siècle avant de recevoir un commencement d'exécution. Il se nommait Morin. Né en 1583, à Villefranche en Beaujolais, docteur en médecine et professeur de mathématiques au Collège Royal, il annonça, en 1634, qu'il avait découvert le secret des longitudes. Il faisait hommage de sa découverte à son souverain, le laissant l'arbitre de la récompense qu'il croyait mériter. Astrologue et partisan de l'immobilité de la terre, il ne croyait pas aux horloges et disait, à leur propos, « qu'il ne savait si le diable viendrait à bout d'une horloge à longitude, mais que c'était folie aux hommes que d'y penser ». Pézenas, en 1785, dans son *Histoire critique de la découverte de la Longitude*, Montucla, Delambre, lui consacrent de longues notices à l'occasion de ses interminables débats avec les commissaires que nomma Richelieu pour examiner sa découverte. De la Porte, intendant général de la marine et du commerce, en était le président ; le président Paschal (Blaise Pascal n'avait alors que 11 ans), Mydorge, Beaugrand, Boulenger et Hérigone étaient commissaires-juges ; enfin on leur avait adjoint quelques capitaines de vaisseau : de Cam, Treillebois et Letier. Morin expose que ses prédécesseurs n'ont examiné l'usage de la lune pour les longitudes que dans des cas particuliers ou qu'ils ont négligé des corrections importantes. C'est ainsi que Képler et Longomontanus ont prescrit de mesurer la distance de la lune à une étoile, seulement quand la lune est au

nonagésime, c'est-à-dire au point d'intersection de l'écliptique et du vertical du pôle de ce grand cercle. Si la lune est dans l'écliptique, la ligne des cornes est perpendiculaire à ce plan ; et si elle est en même temps au nonagésime, cette ligne des cornes est verticale, ce qui donne le moment de l'observation proposée. Or, dans ce cas particulier, le lieu vrai de la lune étant toujours dans le vertical du lieu apparent, la parallaxe en longitude est nulle, et il n'y a pas besoin d'évaluer cette quantité pour réduire la distance. Tandis que Gemma Frisius et les autres négligeaient complètement la parallaxe, Morin, par contre, voulait des méthodes générales, correctement traitées, et il donna effectivement des solutions exactes des différents problèmes de trigonométrie sphérique qui permettent de déduire la longitude de la lune des observations de cet astre susceptibles de conduire à ce résultat. Il suffit pour cela de pouvoir situer la lune par rapport aux étoiles et Morin examina comment on pourrait le faire, entre autres, en observant sa hauteur ou son azimut, ou l'heure de son passage au méridien ou de son passage par le vertical d'une étoile connue ; enfin sa distance à une étoile.

Au point de vue purement géométrique, ses méthodes étaient correctes et complètes. Il les appréciait même assez justement les unes par rapport aux autres, puisqu'il proposait de ne retenir à la mer que la méthode des distances et celle des hauteurs, en donnant, il est vrai, la préférence à cette dernière, qui a été remplacée par celle-là, non sans lutter du reste, ainsi que nous le dirons.

Pour réduire la distance apparente à la distance vraie, il employait le moyen direct qui consiste à calculer l'angle au zénith dans le triangle apparent formé par le zénith et les positions apparentes des astres ; et à en conclure ensuite la distance vraie dans le triangle vrai dans lequel on connaît dès lors les côtés verticaux, qui sont les distances zénithales vraies, et l'angle compris.

Mais la difficulté n'était pas dans tous ces exercices de géométrie, qui étaient à la portée de tous les astronomes. Elle résidait entièrement dans les deux entreprises qui n'ont été achevées qu'au siècle suivant et qui étaient, d'une part : l'établissement de tables

lunaires exactes permettant d'avoir à l'avance des éphémérides de cet astre auxquelles il fût possible de comparer le lieu de la lune déduit de l'observation, d'autre part la construction d'un instrument d'observation suffisamment précis. C'est ce que les commissaires objectèrent à Morin. Celui-ci répondit en proposant de mesurer les hauteurs et les distances avec un quart de cercle. Il pensait qu'un instrument de un ou deux pieds de rayon, muni d'un vernier au quart de minute suffirait : et il admettait entre autres encore, que puisque deux onces de plomb suffisaient à arrêter le mouvement des boussoles et une livre de cuivre celui d'une astrolabe, cent livres, attachées à un quart de cercle, le maintiendraient immobile. Mais les marins restaient sceptiques. Ils finirent cependant par convenir qu'avec un quart de cercle lesté on pourrait prendre hauteur à la mer à 4 ou 5' près. Enfin, pour perfectionner les tables lunaires, Morin eut l'idée de la fondation d'un observatoire destiné à accumuler des observations. En résumé, il avait surtout résolu la seule partie du problème qui pouvait l'être par n'importe qui. Il a fait un peu plus toutefois en pensant à établir un observatoire ; et comme il avait eu aussi l'idée d'adapter une lunette à l'alidade de son quart de cercle et qu'il avait été le premier à voir des étoiles en plein jour, les commissaires auraient dû légitimement l'encourager, alors qu'ils rendirent contre lui une dure sentence qui n'était pas tout à fait juste. Le public, en général, prit parti en sa faveur, mais un Ecossais, Hume, lança un pamphlet qui débutait par ces mots : *parturient montes, nascetur ridiculus mus.*

Plus tard Morin s'adressa, paraît-il, aux Etats de Hollande pour obtenir le prix promis par eux au premier inventeur de la science des longitudes ; mais on ne voit pas qu'il ait reçu une réponse. Enfin Mazarin, en 1645, finit par lui attribuer une pension de 2.000 livres qu'on s'est accordé, par la suite, à trouver méritée. En 1778, les commissaires de la *Flore* lui rendirent hommage en écrivant « qu'avant lui personne n'avait proposé sur les mouvements de la lune une méthode raisonnable en toutes ses parties » et ils pensaient que ses ouvrages « contenaient au moins le germe

de tout ce qui a été dit depuis sur cette matière ». Mais c'est surtout de Fouchy, secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, qui l'a fait sortir de l'oubli. En 1783, il parla avec enthousiasme de sa *Science des Longitudes*, disant que Morin avait « complété et démontré le premier ce qui avait été dit avant lui ». Il rappela surtout son heureuse idée d'adapter une lunette aux instruments. La lunette de Morin, d'ailleurs, ne pouvait pas porter de réticule, car elle avait un oculaire concave qui ne s'y prêtait pas.

En réalité, la question n'avançait pas et les indications qui précèdent n'ont qu'un seul intérêt : celui de montrer que le problème était bien posé et qu'on prévoyait dans quel sens il devait être résolu. Dès lors, les savants savaient comment orienter leurs efforts ; ils étaient prêts à faire profiter la science nautique des progrès réalisés en astronomie et en horlogerie ; et réciproquement le désir de découvrir la longitude devait accélérer ces progrès.

Dans la seconde moitié du XVIIe siècle, la méthode par les horloges va recevoir un commencement d'application. On sait les immenses contributions de Huyghens au perfectionnement des machines à mesurer le temps. Il poussa à l'emploi du pendule et du ressort spiral comme régulateur des horloges et des montres. Il découvrit les curieuses propriétés de la cycloïde et du pendule cycloïdal et songea à faire sur mer l'application de ses découvertes. En 1664, il confia deux horloges, dont il eut l'idée en 1660, à un capitaine écossais de ses amis, le major Holmes, qui guerroyait alors contre les Hollandais, sur la côte d'Afrique. Le moteur de ces instruments était un ressort spiral, le régulateur un pendule ; et elles étaient suspendues par une boule d'acier enfermée dans un cylindre de cuivre. On voit dans l'*Histoire de la Société Royale de Birch* qu'Holmes en fit divers essais. Dans un premier, il s'éloigna de 50 à 60 lieues de la côte, puis il revint à son point de départ et trouva que les montres marchaient, par rapport au soleil, comme avant l'appareillage. Il était dans le golfe de Guinée. A son départ de l'île de San Thomé, située sous l'Equateur, il fit de nouvelles épreuves. Holmes marcha d'abord à l'ouest pendant

7 à 800 lieues. Puis il vint au N.-N.-E. et parcourut à ce cap 2 ou 300 lieues. Il avait plusieurs bâtiments sous ses ordres. Les estimes des autres navires différaient entre elles de 80 à 100 lieues, soit de 4 à 5° et quelques-uns se rendaient si peu compte de leur position qu'ils proposaient de se rendre à l'île de la Barbade pour y faire de l'eau. Mais, par ses pendules, Holmes se trouvait seulement à 30 lieues de l'île de Feu, une des îles du Cap Vert et il paraît qu'il la découvrit en effet le lendemain. Or, en portant sur la carte 800 lieues à l'ouest de San Thomé, puis 300 lieues au N.-N.-E., on se trouve à 3° de la terre signalée, soit à 60 lieues environ. Si on admet que les bâtiments faisaient 30 lieues par jour, il en résulterait une erreur de 1°,5 au moins dans le point par les horloges. Holmes fit remarquer en outre que, grâce aux montres, il s'était aperçu que les bâtiments avaient été entraînés par les courants de 80 lieues à l'est environ, ce dont les pilotes ne s'étaient pas douté et ce qui montrait que les horloges étaient capables de faire connaître les courants aussi bien que les longitudes « chose qui n'avoit jamais encore été faite et que l'on pensait impossible à faire ». Si les résultats ci-dessus étaient exacts, ils constitueraient déjà un succès appréciable, car les erreurs de l'estime étaient trois ou quatre fois plus fortes que celles des montres. Mais ils furent contestés. Pepys fit savoir qu'il tenait du maître d'un bâtiment d'Holmes que les horloges avaient différé l'une de l'autre de plusieurs minutes, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, et Hooke fit des objections tirées des effets des mouvements du navire.

Ferdinand Berthoud et Delambre parlent d'une autre expérience de Huyghens qui eut lieu en 1669 et dont Berthoud déclare qu'elle fut entièrement satisfaisante. Cette année-là, les Turcs assiégeaient Candie, d'une manière presque continue depuis vingt-quatre ans. Tout le monde chrétien s'intéressait au sort de la ville, alors en possession des Vénitiens. Louis XIV projeta de la délivrer et il chargea le duc de Beaufort, le « roi des Halles », d'y transporter 6.000 hommes de troupes placées sous le commandement du duc de Navailles. Beaufort partit le 5 juin 1669 avec une

flotte dont le noyau était composé de 15 bâtiments de guerre et de 10 brûlots. Lui-même était embarqué sur le vaisseau *Le Monarque*, de 94 canons et 600 hommes. Il emmenait un astronome qui devait être chargé des observations à faire pour éprouver deux horloges d'Huyghens. Le moteur, cette fois, était un poids et le régulateur un pendule cycloïdal de 9 pouces (24 centimètres) de long. Les horloges étaient enfermées dans une boîte lestée en bas par une masse de plus de 100 livres ; elles contenaient un *remontoir* destiné à égaliser la force motrice. C'était un petit poids qui, retenu à une chaîne, était remonté par le gros toutes les demi-minutes et qui constituait le moteur direct de l'horloge. Enfin, les pendules étaient suspendus à une traverse soutenue par deux supports ; ce qui donna lieu à la curieuse observation suivante, qu'Ellicott expliqua en 1739, par les réactions du support. Si on lançait les pendules d'une manière quelconque, au bout de quelque temps, ils finissaient toujours par osciller automatiquement d'une manière absolument symétrique.

Pour avoir l'heure locale, on réglait les montres au moment des levers et couchers du soleil, ce qui, dit Huyghens, est la méthode la meilleure, puisqu'elle n'exige aucun instrument. Il paraît qu'on trouva 20°,5 de différence de longitude entre Toulon et Candie qui sont distants de 19°13'. La traversée avait duré du 5 au 22, soit 17 jours. C'était une précision inespérée. Peut-être en fut-il réellement ainsi ; mais il eût été nécessaire de ne pas se borner à une seule observation pour pouvoir apprécier la valeur des instruments. A l'usage, ils se seraient certainement montrés plus défectueux. D'ailleurs, à cette époque, il n'existait pour ainsi dire pas de carte de la Méditerranée, puisque Colbert, en 1678, s'étonnait que cette mer fût, de toutes, la plus imparfaitement tracée et que la carte qui en fut gravée à Marseille en 1689 était encore une carte *plate*, c'est-à-dire une carte à parallèles équidistants ; de sorte que la valeur du résultat en question ci-dessus ne put vraisemblablement pas être appréciée avec quelque exactitude.

Huyghens toutefois ne s'en tint pas là. Il imagina, pour éviter les dérangements dus aux tempêtes, de construire le pendule en

forme de triangle à base horizontale ; le poids : une lentille de plomb, étant placé au sommet inférieur et les deux côtés y aboutissant oscillant entre deux lames cycloïdales ; mais on ne sait si ce système fut éprouvé sur mer.

De plus, en 1669, il donna des instructions pour l'usage des pendules à la mer. Il recommanda d'en avoir au moins deux ; précisa les indications nécessaires pour permettre de les régler sur le temps moyen, alors que les marins avaient l'habitude du temps vrai seulement, ce qui explique les longs développements qu'on trouvera par la suite sur l'équation du temps, dans les traités relatifs à l'usage des montres ; pour calculer leur correction par la méthode des hauteurs correspondantes, méthode que Picard venait de découvrir ; déterminer leurs marches : méthodes et instructions qui deviendront classiques plus tard et qui, bien que simples et faciles à imaginer, prouvent au moins que le célèbre physicien se faisait une idée très nette des détails pratiques de l'utilisation des montres à la mer.

Enfin, dès qu'il eut pensé, en 1675, à appliquer le spiral au régulateur des horloges, il fut convaincu que cette application devait être employée pour la recherche des longitudes. Aussi F. Berthoud a-t-il pu dire qu'il était le premier à avoir jeté les fondements de la découverte des horloges et des montres à longitudes.

Huyghens a fait quelques autres tentatives ; mais il paraît que les résultats n'en furent pas très satisfaisants, ce qui n'est pas pour nous étonner.

Comme nous désirons conduire ces préliminaires jusqu'au commencement du XVIIIe siècle, nous allons encore raconter l'essai d'une montre qui eut lieu en 1685, à l'occasion d'un voyage sur lequel nous aurons à revenir. Louis XIV, à ce moment, envoya une ambassade au roi de Siam. Celui-ci l'avait sollicitée, désirant, d'après quelques historiens, s'assurer l'alliance du grand roi dans la crainte des Hollandais qui étendaient activement leurs possessions dans l'Insulinde ; et les Jésuites, qui avaient des missionnaires en Indochine, ayant fait miroiter aux yeux du roi la conversion du Siam, cela, dit Forbin, contribua à le décider. Le vais-

seau *L'Oiseau* et la frégate *La Maligne* quittèrent la France le 3 mars 1685 avec les membres de l'ambassade. Six Jésuites, savants mathématiciens, étaient du voyage. Ils étaient destinés à la Chine (Cochinchine) où ils devaient faire des observations. Chemin faisant, dans l'Atlantique, ils observèrent avec leurs lunettes les nuées de Magellan, « nuage blanc qui est placé auprès du pôle antarctique, et découvrirent qu'il n'était autre chose qu'une multitude d'étoiles ». L'expédition arriva au Cap après trois mois de navigation ; elle reprit la mer huit jours plus tard et atterrit enfin en vue de Bantam, le 15 août, après deux mois de route.

Au départ du Cap, les Jésuites avaient réglé à l'heure de la ville une pendule à spirale et ressort, faite par Thuret. Tous les jours ils la comparaient aux heures des lever et coucher du soleil ; et, faisant les corrections nécessaires, ils en concluaient leurs longitudes. Le résultat fut lamentable puisque l'erreur à l'atterrissage se trouva égale à 25°. Aussi écrivirent-ils à l'Académie que « l'essai ne prouvait pas qu'on puisse trouver la longitude par les seules pendules ». L'erreur impliquait une variation de la montre de $1^m,7$ par jour en moyenne ; mais nous ne savons pas en quoi consistaient les corrections nécessaires dont ils parlent ; en particulier ils ne nous disent pas s'ils tenaient compte de la marche et s'ils l'avaient déterminée, de sorte que nous ne pouvons connaître la valeur de l'expérience.

De toute nécessité il faut une montre parfaite pour la longitude puisqu'une anomalie de 1^s par jour donne, à l'équateur, une erreur de 464 mètres sur la position du bâtiment.

Pendant ce temps on ne paraissait pas, à première vue, porter attention aux méthodes lunaires. Cependant, à y bien regarder, on s'aperçoit que peu après le moment où on essayait les premières horloges, on commençait à préparer les éléments nécessaires pour aboutir par les mouvements de la lune. Pour cela il fallait d'abord construire des tables lunaires très exactes, puisque toute erreur sur la position de la lune donne en moyenne sur la longitude une erreur 27 ou 30 fois plus grande, selon qu'on la situe par rapport

aux étoiles ou par rapport au soleil. Or, de 1668 à 1671, Perrault avait construit l'observatoire de Paris. L'abbé Picard l'avait demandé pour y établir de grands muraux, de grands secteurs, y déterminer les ascensions droites et les déclinaisons, les réfractions et les parallaxes ; enfin tous les fondements de l'astronomie. C'était un vaste programme, amorçant tout ce qui a été fait depuis. Le 20 octobre 1667, Picard avait fait la première observation réelle avec application des lunettes. Il avait grandement perfectionné les instruments, donné le moyen de placer la lunette parallèlement au plan du limbe et de mesurer l'écart entre le zéro et l'axe optique. Auzout avait construit le premier réticule à fil mobile. Picard sut mesurer le chemin du curseur d'Auzout. Il avait aussi essayé de faire tourner une lunette dans le plan du méridien ; elle allait de 56 à 61° de distance zénithale et Rœmer, son collaborateur, réalisa complètement son idée. Enfin Picard avait demandé instamment l'installation d'un quart de cercle dans le méridien, et La Hire l'installa en 1683. Dès lors on put quotidiennement prendre les hauteurs méridiennes du soleil et suivre les étoiles visibles dans la journée pour avoir leurs différences d'ascensions droites.

De même en Angleterre, l'observatoire de Greenwich, vers 1675, fut confié à Flamsteed à qui il était prescrit de s'appliquer « avec un soin et une diligence extrêmes à la rectification des tables des mouvements célestes et des positions des étoiles fixes dans le but d'arriver à la solution tant désirée du problème des longitudes en mer ». En conséquence, il y installa, en 1689, un arc mural, et il y fit beaucoup d'observations. Toutefois Lemonnier dit qu'en 36 ans, à compter de 1683, on n'y recueillit que 1.200 observations lunaires, ce qui était peu.

Nous verrons que les voyages maritimes entrepris par les astronomes à d'autres fins que les observations de la lune pour la longitude ont été généralement un stimulant très vif pour ces sortes d'observations. Les longues et monotones traversées d'alors leur fournissaient des occasions excellentes pour essayer des méthodes et méditer sur le problème. Le premier exemple en fut donné par

Halley. On l'envoya à l'île Sainte-Hélène, en 1676, à l'âge de 20 ans, pour y dresser un catalogue d'étoiles australes. Il mit trois mois à s'y rendre et c'est sans doute à ce moment qu'il commença à réfléchir sur les méthodes par la lune. Il fut toujours d'ailleurs partisan des distances lunaires et, pour lever l'objection capitale qui consistait à faire remarquer qu'on n'avait pas d'instrument d'observation, il proposa d'abord l'usage des occultations pour lesquelles on n'a pas à faire de mesure angulaire.

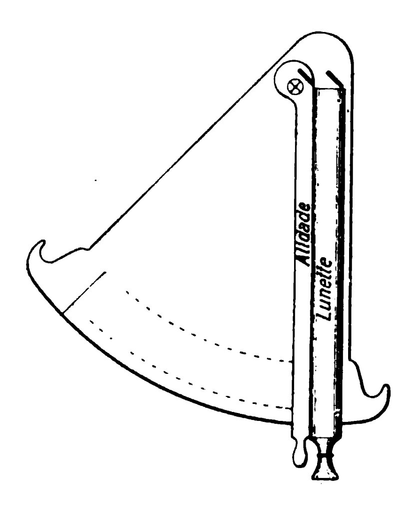
Enfin on sait que la loi de Newton fut révélée au monde savant en 1685. Or on put fonder sur elle de légitimes espérances pour la construction de tables lunaires, de sorte que les germes des théories et des recueils d'observations nécessaires existaient à la fin du XVIIe siècle.

Il restait à trouver un instrument capable de permettre la mesure précise à la mer des distances angulaires. Cet instrument, devenu plus tard le sextant, était aussi découvert à cette époque. On en doit la première forme à Hooke. En août 1666, il mentionna à la Société Royale un « nouvel instrument astronomique pour faire des observations des distances des étoiles fixes à la lune, par réflection ». En septembre on le pria d'en écrire une description. En juillet 1670, la Société Royale examina l'instrument qui était « ainsi conçu que deux objets se rencontrant à l'extrémité d'un style (at the point of a pin) étaient vus en même temps, l'un directement sur un bras de l'instrument muni d'une lunette, l'autre par réflection sur l'autre bras, glissant sur une règle divisée par parties égales ». Ainsi Hooke avait découvert le principe consistant à se servir d'un miroir pour ramener la direction d'un objet sur celle d'un autre et permettre de cette manière la mesure d'un angle par une visée unique le long d'un seul de ses côtés.

Dans les Mémoires de la Société des Sciences de Berlin pour l'année 1749, on trouve la description d'un quart de cercle en fer qui, d'après Hoffmann, astronome de ladite Société, aurait passé de Hooke à Berlin. Cet instrument comportait deux lunettes : une fixe et une mobile, et deux miroirs destinés à réfléchir des rayons

de manière à ramener deux directions à une seule ; mais la description est très obscure.

L'instrument de Hooke n'était pas encore l'octant. Newton créa ce dernier et il en écrivit la description en 1699 dans un papier qu'Halley conserva. Ce papier ne fut connu qu'en 1742 à la mort de Halley et on en donna lecture en séance de la Société Royale le 28 octobre de cette année. On en trouve la copie dans les *Philosophical Transactions* au volume XLII et il y est spécifié qu'il était écrit de la main de Newton. Celui-ci avait joint un dessin à sa description, nous en donnons la reproduction.



L'instrument comprenait une plaque de cuivre portant un limbe à divisions par transversales ; une lunette de 3 ou 4 pieds de long, fixée à un bord de la plaque ; un miroir, installé perpendiculairement au limbe, aussi près que possible de l'objectif, incliné de 45° sur l'axe optique et interceptant la moitié de la lumière qui, sans lui, arriverait à l'œil à travers la lunette ; une alidade tournant autour d'un centre avec un bord rectifié pour la lecture, son centre de rotation étant vis-à-vis du milieu du miroir ci-dessus. Enfin un second miroir parallèle au premier quand l'index était sur la graduation zéro, de manière que la même étoile apparaissait alors dans la lunette au même point, à la fois directement et par les

rayons réfléchis. Newton disait aussi qu'on pouvait, avec cet instrument, prendre les distances des étoiles à la lune et les hauteurs des astres ; et il ajoutait que le contact des deux images étant établi, bien que l'instrument soit secoué par les mouvements du navire, la lune et l'étoile se déplaceraient ensemble, comme si elles se touchaient réellement dans le ciel.

Tel était l'état de la question au commencement du XVIIIe siècle. Les éléments qui devaient aboutir à des solutions valables étaient créés ; et depuis 1660 environ, le problème sortait du cadre des idées pures pour passer aux réalisations. Soudain, vers 1710, il reçoit une impulsion brusque ; les tentatives se précipitent et les germes se développent rapidement. Nous nous proposons d'exposer l'ensemble des efforts qui furent faits en France, à partir de cette date, autour de lui. Mais, pour comprendre l'importance que toutes les nations européennes y ont attaché à ce moment, car il a passionné le monde savant de l'époque, il est nécessaire de montrer quels étaient les à peu près, les imperfections et les dangers des moyens alors employés par les navigateurs pour se situer et se diriger à la surface des mers. C'est par là que nous devons commencer.

LA LONGITUDE ESTIMÉE

Pendant tout le XVIIIe siècle, la presque totalité des grands voyages se fit avec les seuls procédés de l'*estime* dont les résultats étaient partiellement rectifiés par l'observation de la latitude.

Pour faire le *point estimé* on se servait comme aujourd'hui du *loch* qui mesurait la vitesse, et de la boussole ou *compas* qui donnait la direction de la route. Le loch n'était pas d'un emploi absolument général. On lit, en effet, dans l'*Abrégé de Pilotage*, de Coubard et Lemonnier, paru en 1766, que l'on faisait « ordinairement l'estime à voir passer l'eau le long du bord du vaisseau, ayant égard à la bonté du vaisseau, à la force du vent, à la manière dont il enfle les voiles, si l'on va au plus près ou non, à la dérive, qui pourrait faire juger que l'eau va plus vite qu'elle ne fait effectivement, à la marée et aux courants, si le vaisseau est lesté, nouvellement suifvé, etc... ».

Le loch, dont Metius parle en 1631 comme d'un instrument ancien, était, dans sa forme, ce qu'il est toujours resté, constitué par un « bateau de loch » triangulaire, de 6 à 7 pouces de côté, lesté en bas, et par une ligne graduée, à laquelle le bateau était attaché. Mais on constate avec surprise que sa graduation était très défectueuse. En 1727, Radouay, capitaine des vaisseaux du roi, qui annonce, dans ses *Remarques sur la Navigation*, les officiers savants de la fin du siècle, fait, à cet égard, des révélations étonnantes. Le nœud de la ligne de loch des pilotes, assure-t-il, est trop petit. Ils le comptent de 41 pieds 8 pouces (13 m. 34), alors qu'il devrait être de 47 pieds 6 pouces (15 m. 20), d'après les

mesures des académiciens faites en 1672, — il s'agit de la mesure de Picard, qui permit à Newton de vérifier la loi de la gravitation, — car elles ont donné 17.118 pieds (5.477 mètres) pour la lieue. Le nœud était donc de 1 /8e trop court, ce qui augmentait d'autant, en apparence, la vitesse du navire, puisqu'on en comptait plus qu'on n'aurait dû le faire.

On pensera que cette erreur si grossière a été corrigée aussitôt signalée. Mais il n'en est rien. Chabert, un des premiers officiers astronomes, dans la relation du voyage en Acadie, qu'il entreprit en 1750 et 51, pour corriger les positions géographiques de cette région, porte les mêmes plaintes : « Quantité de pilotes, dit-il, donnent encore 41 pieds 8 pouces au nœud, au lieu de 47 pieds 7 pouces, mesure que le ministre Maurepas a pourtant prescrit d'adopter. Il n'y a point d'officier qui ne s'en plaigne, mais inutilement. »

Bouguer, fils de professeur d'hydrographie et professeur lui-même, au Croisic, puis au Havre, se plaignait aussi dans le même sens en 1747, dans un mémoire à l'Académie, dans lequel il signale que « la plupart des pilotes comptaient le nœud la 1 /120e partie de l'ancien mille, comme le disait Radouay en 1725 ». Enfin, en 1781 encore, la graduation exacte n'était pas fixée. Gaigneur, autre hydrographe, dans son *Pilote instruit*, publié à Nantes, à cette date, écrit en effet que « la majorité des navigateurs s'écarte de la division absolue de la ligne de loch, qui doit être de 47 pieds 6 pouces entre chaque nœud ; que chacun la modifie selon les préjugés, les uns ne donnant que 42 pieds 6 pouces, d'autres que 43, 44 ou 45 pieds, cette dernière valeur étant autorisée du sentiment de Verdun de la Crène, Pingré, Borda » ; car il était nécessaire de diminuer un peu la longueur exacte pour tenir compte de l'entraînement du flotteur par le bâtiment.

Il est vrai que les pilotes essayaient de corriger les erreurs de la graduation du loch par une autre erreur commise, cette fois, dans le sablier qui l'accompagnait. Le nœud est la 120e partie du mille, et le sablier qui sert à les compter est de 30 secondes : 120e partie de l'heure ; de sorte que le nombre de nœuds filés en 30 se-

condes est le même que le nombre de milles ou de minutes d'arc de grand cercle, parcourus en une heure. En employant des *sables* de 30 secondes, avec des divisions de la ligne de loch trop courtes, les pilotes estimaient la vitesse trop grande. Mais si le sable n'était plus que de 25 ou 26 secondes, l'erreur se trouvait en partie rectifiée. C'est ce qui avait lieu souvent, les sabliers étant généralement trop courts ; peut-être, par suite de l'usure des grains produite à la longue par leur écoulement, surtout si ces grains provenaient, si on en croit le père Fournier, écrivain maritime du XVIIe siècle, de coquilles d'œufs pilées. Mais, dit encore Chabert, « c'étaient là de mauvaises pratiques ». Le sablier n'était pas toujours trop court du reste. Le Gentil, pendant ses voyages dans la mer des Indes, où il manqua les deux passages de Vénus sur le soleil, de 1761 et 1769, eut un jour, étant à la mer, l'idée de vérifier le sablier. Pour cela, il prit des hauteurs de soleil voisines, en comptant l'intervalle de temps qui les séparait avec le sablier à vérifier. Les hauteurs lui donnant les angles horaires correspondants et par suite le temps écoulé entre les observations, il trouva pour durée de l'écoulement du sable $34^s,25$, valeur qu'il vérifia à terre, et qu'il trouva exacte.

Aussi Gaigneur recommande-t-il de vérifier le sable au moyen du pendule qui bat la demi-seconde. On devait faire ce pendule en fil de soie, avec balle de plomb de 3 à 4 lignes (6,7 à 9 millimètres) de diamètre ; le fil serré à une fente. Sa longueur, jusqu'au centre de la balle, devait être de 9 pouces, 2 lignes, 1 /7e (24 cm. 8) et on devait écarter initialement la balle de sa position d'équilibre de 3 à 4 pouces (8 à 11 centimètres).

Enfin, quelquefois, les pilotes pensaient ne pas commettre d'erreur malgré leurs instruments défectueux, en aidant plus ou moins la ligne de loch à se dévider, « ils ne jetaient pas tous le loch de la même manière ». En résumé, le loch, déjà si imparfait par essence, ne pouvait, avec ces pratiques, donner des résultats satisfaisants.

Le compas valait-il mieux ? Il faut distinguer entre le compas de route avec lequel on gouvernait, et le compas de variation qui

servait à l'observation des azimuts, d'où on concluait la valeur de l'angle de l'aiguille et du méridien. Ils avaient l'un et l'autre des roses à aiguille simple, de formes variées. Même on en avait essayé de forme circulaire, en anneau. Ordinairement, l'aiguille était un losange très allongé et la rose était collée dessus ; un petit cône creux de cuivre ou de laiton servait de chape, et le pivot était fait d'une tige très fine, trop fine, d'acier. Radouay se plaint beaucoup des défauts de leur construction. A la longue, les roses s'affaissaient, vers l'est et vers l'ouest, où elles n'étaient pas soutenues ; car on ne les soutenait pas toujours par une circonférence de talc (mica) collée par dessous. Pour y remédier, on avait essayé des aiguilles en forme de large losange réduit à ses côtés ; mais alors leur axe magnétique n'était pas fixe. D'autre part, la rose était enfermée dans une boîte, d'abord en bois, qui était suspendue à la cardan à l'intérieur d'une autre, plus grande. Les planches jouaient, et aux grands roulis, la boîte intérieure venait buter contre l'extérieure. Plus tard, on fit généralement la boîte intérieure en laiton ou en cuivre. Les compas de route étaient enfermés dans l'*habitacle.* C'était une petite armoire fixée sur le pont, vers le mât d'artimon, de manière à ce qu'on pût voir commodément au dedans. Elle était divisée en trois compartiments, celui du milieu étant destiné à loger une lampe et les autres des boussoles. Au-dessus de ces instruments, on déposait les montres et les sabliers. Enfin elle était installée dans le sens de la largeur du bâtiment, de telle sorte que l'homme de barre avait toujours un compas sous les yeux, de quelque bord qu'il se trouvât placé.

Cet habitacle était une cause d'erreurs. Sur la *Mutine*, qui l'emmenait en 1750, Chabert croyait nécessaire de vérifier s'il était fixé de manière que ses côtés fussent parallèles à la quille ; car sa position déterminait celle des boîtes carrées des boussoles qui y étaient introduites, et il y avait souvent des inégalités attribuables à cette négligence.

D'un autre côté, dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences* de 1686, on fait remarquer que l'aiguille déclinait tout autrement dans une boîte de cuivre ou dans une boîte de bois. En 1716, on

porte de nouveau la même plainte : les boîtes en laiton sont sujettes à erreur parce que ce métal contient des granules de fer. Aussi La Hire propose-t-il des boîtes de marbre. On ajoute que « les boussoles dont on se sert sur mer sont si grossières qu'on ne peut assez s'étonner comment on s'y fie pour la conduite d'un vaisseau ». Il est vrai « qu'on n'a rien de meilleur, ni de plus commode ».

Les *Mémoires de l'Académie de Marine* s'inquiètent aussi de ces mauvaises pratiques. En 1769, on commença à s'occuper de la boussole dans cette savante assemblée, en faisant remarquer que le laiton des boîtes produisait des dérangements. En 1771, année où l'Académie de Marine est affiliée à l'Académie des Sciences « afin d'accélérer les progrès des sciences nautiques », Mannevillette, jusqu'à son époque le plus grand hydrographe de tous les temps et de tous les lieux, écrit d'Hennebont que Retail, qui construit depuis vingt ans des boussoles pour la Compagnie des Indes, n'emploie que le cuivre rouge à l'exclusion du laiton. Il fait observer aussi qu'on ne doit pas mettre deux compas dans l'habitacle, comme on le faisait ordinairement pour diminuer les chances d'avoir une aiguille « dormante », leur différence pouvant aller à 5 ou 6°, comme il l'avait expérimenté en 1767, par suite de l'action réciproque des aiguilles l'une sur l'autre. Ces remarques avaient déjà été faites, plus de trente ans auparavant, par Duhamel et Morogues, de l'Académie des Sciences. Fleurieu, en 1775, expliqua que ces actions réciproques devaient se produire, puisque la sphère d'action des aiguilles s'étendait à 12 pieds (4 mètres) « quoique enfermées dans une boîte et sous glace ». Il se plaignait également de l'habitude qu'on avait de placer des fanaux à proximité des compas et de ne pas les éloigner assez des canons. Enfin, on trouve encore, pour préciser ces faits, des expériences rapportées en 1779, par de Gaulle. Il dit que dans les petits navires du roi, les deux roses de l'habitacle, séparées par le compartiment du milieu, réservé à la lumière, sont éloignées de 15 à 18 pouces (40 à 49 centimètres), même de 12 à 13 (32 à 35 centimètres) seulement quelquefois ; et que, dans ces conditions, avec des aiguilles

de 6 pouces 9 lignes (18 centimètres) de long et de 4 lignes (9 millimètres) de large, et chape d'agate, les inégalités atteignent 26°. L'Académie de Marine avait également ordonné à ce sujet des expériences qui furent concluantes et elle en répandit dans les ports les résultats, qui furent tirés à 900 exemplaires.

Le compas de variation ne différait pas sensiblement du compas de route, seulement il portait deux pinnules diamétralement opposées, fixées sur le bord de la boîte extérieure, et au-dessus de la rose, un fil tendu perpendiculairement à la direction des pinnules et fixé à la même boîte par ses extrémités. Il y avait aussi un fil tendu d'une pinnule à l'autre. Pour relever le soleil, on transportait le compas dans un endroit du bâtiment d'où l'astre pouvait être commodément aperçu. On avait soin de l'installer sur un corps mou « par exemple sur un capot ou sur une redingote », suivant la recommandation de Gaigneur, afin de pouvoir le caler et l'orienter aisément ; car il fallait tourner la boîte tout entière pour viser dans une direction avec les pinnules ; et, pendant qu'un observateur faisait cette visée, un aide, nécessaire, lisait la graduation qui tombait sous le fil perpendiculaire. Ce moyen était compliqué et pouvait donner lieu à de multiples erreurs. Aussi n'est-on pas surpris de voir dans Radouay que le compas de variation et le compas de route différaient souvent de 10° ; et Gaigneur conseiller de comparer les deux compas « car ils diffèrent souvent ». Il est surprenant de voir les choses demeurer en cet état jusqu'à une date avancée dans le XIXe siècle. En Angleterre, Robertson, dans son cours de Mathématiques à l'usage des marins, décrit le même compas de variation en 1780. En France, le *Vade-Mecum du Marin*, de Guépratte, qui fut en beaucoup de mains, porte encore, dans une édition postérieure à 1835, que « le compas de variation contient deux pinnules opposées » et « qu'il peut se transporter facilement d'un lieu à un autre ». Ainsi, à ce moment encore, on n'avait pas adopté, moyen si commode, l'alidade centrée sur le centre de la rose. Une telle alidade avait pourtant été proposée par Fleurieu, mais avec des complications d'installation, et, en fait, on se servait tout au plus du compas

azimutal décrit par Pèzenas, par exemple, en 1766, dans son *Astronomie des Marins* et en 1814 dans l'édition de Rossel, du *Cours de Navigation* que Bezout avait fait autrefois, à partir de 1765 environ, aux gardes-marines. Ce compas azimutal était un compas de variation auquel on ajoutait, recouvrant la glace, un cercle de bois ou de cuivre, qui portait, non pas en son centre, mais en un point de sa circonférence, une équerre verticale pivotant autour de ce point et servant ainsi d'alidade. Seulement cette équerre ne pouvant mesurer commodément que des angles de 45° de part et d'autre du diamètre de la rose passant par le pivot de l'équerre, ce pivot pouvait occuper quatre positions différentes sur la boîte du compas, à 90° les unes des autres. Enfin, les pilotes à qui on laissait le soin de la route ne relevaient guère le soleil qu'à son lever ou à son coucher, ce qui fait, dit Radouay, qu'en hiver, dans l'Atlantique nord, on restait souvent plusieurs jours sans avoir de variation.

Telle était la manière dont on obtenait les éléments du point estimé. Les calculs faits avec ces éléments pour passer de la latitude et de la longitude du point de départ aux coordonnées du point d'arrivée — qu'on appelait sur les journaux de bord latitude et longitude d'arrivée — connaissant les distances parcourues et les angles de route, n'étaient pas toujours, non plus, à l'abri de toute critique. Ils sont pourtant simples, car ils se ramènent au calcul des trois formules suivantes :

$$\varphi_2 - \varphi_1 = - m \cos A \qquad e = m \sin A \qquad g = \frac{e}{\cos \varphi_m}$$

où φ_1 et φ_2 sont les latitudes des deux lieux, g la différence de leurs longitudes, m et A la distance et l'angle de route et où $\varphi_m = 1/2\,(\varphi_1 + \varphi_2)$. Les pilotes les résolvaient en général graphiquement au moyen du « quartier de réduction », connu de tout temps. C'était un abaque permettant la résolution des triangles rectilignes rectangles. Encore fallait-il ne pas se tromper dans les lectures des échelles linéaires ou angulaires et ce n'est pas ce qui avait toujours lieu. Bouguer raconte qu'il a connu un pilote qui ne pouvait se servir couramment du quartier de réduction. Pour

passer de e à g, il comptait φ_m sur l'échelle de A et non sur l'échelle spéciale tracée à cet effet. Or ces échelles doivent être graduées en sens inverse ; l'origine de la première étant à l'axe des abscisses et celle de la dernière à l'axe des ordonnées. Pendant longtemps ce pilote fit les traversées d'Europe à l'Amérique du Nord, par la route du nord. Comme cette route le maintenait par des latitudes voisines de 45°, son procédé n'avait pas grand inconvénient ; mais une fois, il alla aux Antilles, et il allait commettre des erreurs énormes sans les avertissements de gens plus éclairés qui s'aperçurent de son incapacité.

Tout cela n'empêchait pas Bezout et Rossel de donner laborieusement des formules destinées à tenir compte de l'ellipticité, alors très mal connue du reste, du méridien terrestre, dans les calculs de l'estime. C'était un manque de bon sens.

Les pilotes observaient aussi la latitude en prenant des hauteurs méridiennes de soleil. A la fin du XVIIIe siècle, l'octant, ou le sextant, était à peu près entré complètement dans les mœurs des marins ; mais, comme il a été surtout fait pour les observations précises de longitude : calcul d'angle horaire par la hauteur et mesure des distances lunaires, nous réservons son histoire pour plus tard. Du reste, dans ce siècle, on observa beaucoup moins avec lui qu'avec les instruments qui l'avaient précédé. On persistait à employer ces derniers. De 1665 à 1701, Chazelles, ingénieur hydrographe, travailla aux cartes de la Méditerranée et, si on en croit Montucla, il employa alors avec assez de succès l'ancien anneau astronomique. Radouay, dans l'ouvrage cité, dit que sur les vaisseaux du roi, on ne se servait que de l'arbalestrille et du quartier anglais. Son témoignage, il est vrai, ne vaut que pour le premier quart du XVIIIe siècle ; mais, en 1745, Daniel Bernouilli ne sait si, par mer agitée, il faut donner la préférence à l'arbalète ou à l'octant ; et, en 1753, Bouguer décrit encore les vieux instruments. Enfin, dans l'édition de 1781, de la *Navigation de Bouguer*, il est écrit que l'arbalestrille est *presque* abandonnée depuis quelques années, ce qui prouve qu'on s'en servait encore. Quant au quartier anglais, il y est recommandé de ne pas négliger de

s'en pourvoir « car il est moins sujet que l'octant aux accidents qui rendent celui-ci inutile pour le reste du voyage ». Il peut, y dit-on, donner une hauteur à 1 ou 2' près quand il est bien construit ; mais cette exactitude devait être rarement atteinte.

L'arbalestrille était composée d'une tringle de bois ou « flèche » passant à travers des « marteaux » ou traverses qui pouvaient glisser sur elle. Pour observer par devant, on formait l'angle à mesurer par les directions allant d'une extrémité de la flèche aux extrémités symétriques de l'un des marteaux. Il fallait donc viser à la fois à l'horizon et à l'astre ; ce qui était pratiquement impossible. Pour prendre hauteur avec l'astre par derrière, on recevait sur le marteau le plus petit l'ombre du soleil portée par l'extrémité supérieure d'un autre marteau fixé à un bout de la tringle, pendant qu'on assujettissait à l'horizon la ligne joignant les deux parties inférieures des deux marteaux employés. Cet instrument, même fait en bois dur, se déformait ; de plus, pour des angles de 90°, les graduations de la flèche étaient très rapprochées.

Le quartier anglais ou quartier de Davis était un progrès. Il comprenait deux arcs concentriques ; l'un de petit rayon et de 60° d'étendue portait une pinnule mobile, ou un verre ardent, qui avait été ajouté par Flamsteed et Halley, projetant une image du soleil sur un écu ou marteau placé au centre des arcs ; l'autre, de grand rayon et de 30°, était muni d'une pinnule oculaire par laquelle on visait l'horizon, qu'on devait apercevoir dans une fente du marteau. Le verre ardent était fixé à l'avance suivant la hauteur à observer et le grand arc portait une division par transversales ou un vernier qui donnait aisément la minute. On n'observait d'ailleurs que par derrière. On pouvait ainsi obtenir les hauteurs à quelques minutes près, à 5 ou 6' en général si on en croit les Mémoires de l'Académie de 1722, ou l'estimation de Chabert en 1753, malgré la difficulté qu'il y avait à maintenir l'image du soleil sur la fente du marteau, avec des roulis.

Mais l'erreur sur la latitude était souvent beaucoup plus grande. Radouay assure en effet que les pilotes ne corrigeaient pas du

demi-diamètre de l'astre, ni de la dépression de l'horizon, ni de la réfraction ; qu'ils n'interpolaient pas dans leurs tables ; enfin, que leurs instruments avaient des erreurs systématiques qu'ils ne connaissaient qu'à la longue, « de sorte, écrit-il, qu'ils s'en servent comme on fait d'un mauvais fusil, en visant à côté du but ». Ils visaient alors non à l'horizon, mais au-dessus ou au-dessous, à vue, suivant le cas.

Ce n'était pas tout, les pilotes trouvaient des différences entre la latitude d'arrivée, calculée par l'estime, et la latitude observée à midi. Il eût fallu se contenter d'adopter comme point la latitude observée et la longitude estimée. Au lieu de cela ils voulaient déduire une erreur sur la longitude de l'erreur sur la latitude. Rien de plus fatigant ni de plus fastidieux que de lire les innombrables règles et exemples qu'on trouve à ce sujet dans les traités de navigation du XVIIIe siècle. Presque tous s'occupent de la question. Bouguer et Bezout ne s'en dispensent pas. Gaigneur paraît s'y complaire, il est le plus abondant. On admettait, suivant les cas, distingués par la direction de la route, que l'erreur sur la latitude provenait du loch ou du compas exclusivement, ou des deux à la fois, dans une certaine proportion ; et on calculait alors aisément la prétendue erreur sur la longitude. Or, l'appréciation qui servait de base au calcul était tout à fait arbitraire et fantaisiste. Les erreurs provenaient sans doute en partie de la grossièreté des instruments ; seulement elles étaient par essence inestimables et on ne devait pas par suite toucher aux résultats en les évaluant à vue. Elles provenaient surtout de la dérive et des courants, qui étaient absolument inconnus et qu'on ne savait apprécier. Aussi est-ce une véritable satisfaction que de rencontrer des auteurs jugeant sainement ces sortes de corrections. Chabert, par exemple, écrit, dès 1753, que la correction qu'on a coutume d'apporter à la longitude d'après l'erreur sur la latitude, est quelquefois une nouvelle source d'erreurs ; car on ne sait d'où provient l'erreur sur la latitude ; il est du sentiment de ne jamais corriger les lieux est et ouest et de prendre la latitude observée et la longitude estimée. La Caille aussi ne parle de ces questions

que pour s'élever en peu de mots contre ces opérations « arbitraires des pilotes » ; et il pense qu' « on doit corriger seulement la longitude quand on a des données précises sur les courants ». Mais Rossel, en 1814, n'ose pas encore supprimer les passages de Bezout qui sont relatifs à ces singuliers procédés. Seulement il se contente de mettre en note des remarques analogues aux précédentes.

Concluons toutefois, à la décharge de ces médiocres théoriciens, que s'ils se débattaient ainsi devant des difficultés sans issues, cela mesurait l'importance qu'ils attachaient, à juste titre, au problème dont ils désiraient une solution.

Avec les habitudes qui précèdent, les erreurs sur la position du navire ne pouvaient manquer de devenir rapidement énormes. Elles auraient pu être aussi très grandes avec une estime correcte ; et, dans ces conditions, elles peuvent être considérées comme une limite inférieure des valeurs qu'elles étaient capables d'atteindre. En voici des exemples dans l'un et l'autre cas, souvent assez difficiles à séparer. Christophe Colomb, dans un rapport sur son quatrième voyage, fait aux Monarques Catholiques, accuse déjà les pilotes de se tromper de plus de 400 lieues, soit de plus de 20°. Dans sa campagne de 1722 sur les bancs de Terre-Neuve, Radouay trouve qu'à l'aller, à l'atterrage sur les bancs, les points des pilotes se sont tous faits, par suite de l'imperfection de leur loch, en erreur au moins de 80 lieues de 5555 mètres sur l'avant du navire, et Bouguer dit que quand on a des vents contraires, les erreurs atteignent souvent 7° à 8°. Le 14 novembre 1764, Chappe lit à l'Académie un rapport sur les épreuves de la montre n° 3 de Ferdinand Berthoud. C'était le premier du genre. Il y rappelle les observations de La Caille dans son voyage au Cap de Bonne-Espérance. Ce dernier était parti sur le *Glorieux*, commandé par d'Après de Mannevillette. Trois semaines plus tard, ils cherchaient l'île San Yago du Cap-Vert, en faisant route à l'ouest, car ils s'en croyaient à l'est. Mais en réalité ils en étaient à l'ouest, avec une erreur en longitude de plus de 4°, ce qui les obligea à relâcher à Rio de Janeiro, car ils ne pouvaient revenir en

arrière et ils avaient besoin de caréner un petit bâtiment de leur suite qui avait une voie d'eau considérable.

D'Après signale aussi le cas fréquent des navires qui, se croyant à Ténériffe, atterrissaient au Cap Noun, à 5 ou 6° de distance de cette île, d'où on concluait que les courants portaient à l'est. Le 8 mars 1753, La Caille quitta le Cap pour les Mascareignes. A la fin de la traversée, l'estime les mettait à 40 lieues à l'est de Rodrigue, alors qu'ils en étaient à 180.

Chappe s'étend sur les inconvénients pour les navires d'avoir de mauvaises longitudes. Il cite une erreur de 179 lieues faite en 1763, par un « de nos meilleurs pilotes » dans une traversée de France à la Guyane française, et une autre de 150 lieues dans un second voyage entre les mêmes points. La même année, une erreur de 200 lieues est commise par un bâtiment, vers les Bermudes ; et un autre se trouve vers le fleuve des Amazones se croyant en haute mer.

Cassini le fils, sur l'*Enjouée*, effectuant en 1768 un voyage de circumnavigation dans l'Atlantique nord, pour étudier les montres de Le Roy, annonce que les meilleurs navigateurs disent commettre des erreurs de 50 à 60 lieues en deux mois. Dans le voyage de la *Flore*, en 1772, on remarque des erreurs de 56' sur une traversée de cinq jours, du 25 au 30 janvier 1772, de Gorée à la Praya ; et une autre de 2°17' du Cap Français à Saint-Pierre et Miquelon, en vingt jours.

L'examen du journal de Suffren, de 1781 à 1784, démontre qu'ils commettaient des erreurs de même ordre. On observait de temps en temps des distances lunaires dans son escadre, ce qui donnait une idée des erreurs de l'estime. A l'aller, ils se trouvent en avance de 6° sur le point estimé quelques jours avant d'atterrir au Cap, au moment de couper le méridien de Paris, une vingtaine de jours seulement après avoir quitté La Trinité. Au retour, de la côte de Coromandel à l'île Rodrigue, en novembre 1783, ils ont des erreurs de 5°, l'estime les mettant de cette quantité en arrière de leur vraie position. Par contre, de l'Ile de France au Cap, en décembre de la même année, l'estime les met dans

l'intérieur du continent africain, à environ 50 kilomètres de la côte, alors que les bâtiments que Suffren envoie en avant de l'escadre pour chasser la terre n'aperçoivent rien. Nous avons trouvé dans un manuscrit d'un officier du génie qui partit de Brest le 11 février 1782 avec des bâtiments de renfort pour l'armée de Suffren, qu'avant l'atterrissage au Cap, les vaisseaux de guerre qui ont fait des observations de longitude se croient à 100 lieues (5°) du Cap alors que l'estime les met tout près de terre. Pendant la campagne de d'Estaing dans l'Amérique du Nord, en 1778-1779, au moment de la guerre de l'indépendance américaine, Chabert observe des longitudes. Vers le milieu de la traversée de Toulon à la Delaware, il reconnaît que l'estime des pilotes était fautive de près de 6° dont leur route était trop peu avancée. D'après les observations, l'armée avait dépassé le méridien des Bermudes et elle put franchir en sécurité le parallèle de ces îles, en passant à l'ouest, alors que l'estime indiquait dans ce parti une manœuvre dangereuse. La traversée, qui fut très longue, en fut heureusement raccourcie.

Fleurieu relève soigneusement les erreurs de l'estime dans le voyage autour du monde du capitaine marseillais Marchand, de 1790 à 1792. Dans la traversée du Cap-Vert à la Terre des Etats, leur longitude estimée est en erreur, en dix jours, du 26 mars au 8 avril, de 3°46'. Dans la traversée totale, qui dura 73 jours, ils ont à l'arrivée une erreur résultante de 7°6', provenant d'erreurs en retard montant au total à 6°29' et d'erreurs en avance formant une somme de 13°35'. De la Terre des Etats à l'île Mendoça, par $\varphi = -10°$ et $g = 141°$ O., en 73 jours encore, la somme des erreurs est de 8°41' vers l'est, de 4°13' vers l'ouest ; donc à l'atterrage elle reste de 4°28'. Disons encore qu'à la fin du voyage, de l'île de la Réunion à Sainte-Hélène, en 43 jours de mer, l'erreur à l'atterrissage estimé aurait été de 8°, soit de 850 kilomètres environ : dimension de la France sur le parallèle de Brest.

Voilà ce qu'on trouvait avec le loch et le compas. Le bâtiment zigzaguait de part et d'autre de la route estimée qu'il croyait suivre ; s'en écartant parfois à de très grandes distances ; et le

danger qu'il courait de ce fait est évident. Aussi lit-on dans Marchand « qu'il faut rendre hommage aux sciences et aux arts qui, en soustrayant le navire à l'empire de l'arbitraire, ont fourni des moyens assurés pour se mettre à l'abri des redoutables effets d'une incertitude à laquelle le marin le plus habile opposait vainement sa longue expérience ».

Lorsque de simples retards résultaient de ces à peu près, leurs inconvénients étaient peu graves et ils ne laissaient pas de trace. Mais les conséquences des erreurs de l'estime s'étendaient plus loin et devenaient une source permanente de dangers. L'estime ne servait pas seulement à faire le point ; c'est aussi par les moyens imparfaits qu'elle mettait à la disposition des navigateurs qu'étaient dressées les cartes dont on se servait à la mer. Jusqu'à la fin du XVIIIe siècle, en effet, la plus grande partie de ces cartes était basée sur des positions estimées ; et il ne pouvait en être autrement, parce que la détermination très exacte des coordonnées géographiques nombreuses, nécessaires à une cartographie complète et précise, au moyen d'observations astronomiques et géodésiques faites à terre, est une entreprise immense. C'est pour cette raison, entre autres, que la table des positions géographiques de la *Connaissance des Temps* ne contient, en 1745, encore, que celles de 140 lieux ; qu'en 1749 il n'y en a que 205 et en 1778, 228 seulement.

Voici d'abord ce que Chabert, dans un Mémoire de 1759, dit des cartes de la Méditerranée. Quand on commença, en 1679, sur les ordres de Colbert, à travailler aux cartes de cette mer, on observa simplement des latitudes à l'astrolabe, qui n'était que l'anneau astronomique muni d'une alidade à pinnules, et à l'arbalestrille ; on releva au compas les directions allant d'un cap au cap voisin, et on mesura au loch leurs distances respectives. Les officiers prétendaient que les observations astronomiques à terre étaient inutiles, puisque le marin voyait les côtes du large. C'était en particulier l'opinion de Tourville, en 1685. Aussi relève-t-on des erreurs de 30' en *latitude* sur les cartes publiées à Marseille en 1689, et jusqu'à cette époque, la Méditerranée était

allongée en longitude du quart au septième de sa longueur.

Les parages du Grand-Banc de Terre-Neuve, où, d'après le voyage de Cassini déjà cité, on pratiquait depuis longtemps, comme de nos jours, la pêche à la morue, étaient très fréquentés. Pourtant Radouay, en 1722, estime que la position du Grand-Banc est en erreur de 80 lieues en longitude ; et Chabert, en 1750-1751, écrit que jusqu'alors les cartes de la région de Terre-Neuve étaient toutes « fondées sur l'estime ». Il fait remarquer qu'entre les cartes anglaises et hollandaises il y a une différence de 9° ou 120 lieues dans la position de la côte orientale de Terre-Neuve, soit une erreur de un sixième sur la distance de l'île aux côtes d'Europe. Il a déjà fait en 1746 deux campagnes en Acadie et il a été témoin alors des dangers courus dans ces parages par plusieurs vaisseaux, notamment par quelques-uns de ceux qui faisaient partie de la malheureuse escadre de l'incapable duc d'Anville. Et c'est pourquoi il a formé le projet de s'instruire en astronomie, avec la perspective des grands effets que devait produire l'application des officiers de marine à cette science. C'est ainsi qu'il devint géographe.

Chappe se rendant en Californie, en 1761, trouve que la longitude de la Vera Cruz est fausse de 3°. Dans la relation du voyage de Fleurieu, sur l'*Isis*, en 1768 et 1769, le nombre des erreurs relevées sur les cartes de l'Atlantique nord est innombrable. Les cartes de Bellin, du Dépôt des cartes et plans de la Marine, sont très inexactes, y est-il dit. Citons l'île de Maï, dans les îles du Cap-Vert, qui est à un degré trop à l'est ; la Martinique, qui a quatre positions sur quatre cartes différentes ; les Açores, dont la plus occidentale est en erreur de 3°,75 vers l'est sur une carte, de 0°,66 vers l'ouest sur une autre, de sorte que la différence des deux est presque de 4°,5. Du reste, aucune n'est exacte. Mêmes plaintes chez Verdun, deux ou trois ans plus tard : « Nous eûmes de la peine à trouver l'Islande (ils venaient du Grand-Banc) ; sur l'autorité des cartes, nous la cherchions plus à l'ouest. » Les erreurs sur la position de cette grande île étaient énormes. Les cartes de Bellin, les plus exactes, mettaient Patrix fjord par 30° de longi-

3

tude, au lieu de 26°,4 et par 66°15' de latitude, au lieu de 65°36'. Il se passa sept jours entre les premiers sondages de Verdun et le moment où il vit enfin la terre. Les brumes fréquentes leur imposaient, il est vrai, une grande prudence. Et Fleurieu remarque avec amertume que l'Atlantique nord est pourtant la partie du globe la mieux connue.

Passons à l'Atlantique sud et à la route des Indes Orientales, avant les immenses travaux de d'Après de Mannevillette. Sur un globe terrestre de 1648, conservé au Musée Maritime de Brest, la distance en longitude entre le Cap-Vert et le Cap de Bonne-Espérance est en erreur de 6° ; et en 1685, deux cents ans après la découverte du Cap de Bonne-Espérance, qui était devenu un véritable boulevard maritime, sa longitude n'était encore fixée que par l'estime. Cette année-là, les savants Jésuites de l'ambassade au Siam profitèrent de leur séjour dans la baie pour faire quelques observations astronomiques. Ils s'installèrent dans le beau jardin de la Compagnie des Indes hollandaises et fixèrent pour la première fois, par des observations célestes, la longitude de ce point si important. Mais ils n'eurent qu'une émersion du premier satellite de Jupiter, le 4 juin 1685 et ils en conclurent pour la longitude du Cap, par rapport à Paris, la valeur de 17°44',5 en erreur de plus de 1°,5. C'était à peu près la longitude de la carte de La Hire ; une autre carte, de Duval, donnait 22°30', en erreur de 6°. Les navigateurs s'aperçurent, paraît-il, que la nouvelle longitude des Jésuites ne s'accordait pas avec les routes faites du Cap à Sainte-Hélène dont la longitude avait été bien déterminée par les astronomes anglais. La Caille, en 1751, par des éclipses de lune et des satellites de Jupiter, et par des occultations, trouve enfin la vraie valeur, qu'il fixe à 16°10'. Il montre aussi que les Jésuites se sont trompés de 20' sur la latitude du même point.

Les parages du Cap Horn, où se rencontraient beaucoup de navires, étaient encore plus mal connus. Vers 1700, les armateurs malouins commerçaient activement avec les ports de la côte Pacifique de l'Amérique du Sud. De 1712 à 1714, un ingénieur du roi : Frézier, poussé par un grand désir de voyager, s'embarqua

sur un bâtiment de Saint-Malo pour visiter les villes du Chili et du Pérou. Il donne 61°35' de longitude au détroit de Maire, au lieu de 67°30', et fait remarquer que les cartes mettent d'ordinaire 100 lieues de ce détroit au Cap Horn. Il raccourcit cette distance à 40 ou 50, ce qui était encore trop, puisqu'il n'y en a que 30. Les cartes donnaient au Cap Horn une latitude de 57°,5 ou 58° au lieu de 55°43', valeur exacte.

Les petites îles isolées étaient si mal placées que souvent elles étaient dédoublées ou multipliées davantage. Une île, appelée Nouvelle Sainte-Hélène, fut longtemps figurée, à l'est exactement de la vraie Sainte-Hélène, à 9° sur certaines cartes. On croyait tellement à son existence, qu'après l'occupation de Sainte-Hélène par les Anglais, la Compagnie Hollandaise la fit rechercher par une expédition militaire destinée à en prendre possession. Toutes les Compagnies des Indes avaient alors besoin de « points de rafraîchissement ». L'île de la Trinité, par 20°,5 de latitude sud, était à la fois sur les routes d'aller et de retour d'Europe aux caps Horn et de Bonne-Espérance. Aussi fut-elle déquadruplée. On prétendait qu'il existait à l'ouest, à une centaine de lieues, une autre île, nommée l'Ascension de l'Ouest. D'après la tradition, elle aurait été découverte en 1501 par Jean de Nove. Cependant Castanheda plaçait par 8°, au lieu de 20, l'île découverte par ce navigateur. On en donnait des descriptions détaillées. Il y avait dans le nord une anse où tombait une rivière, et une caverne où entrait la mer — (La Trinité a en effet une arche remarquable au bout d'une plage, mais à l'est). On la trouve sur la mappemonde dessinée en 1587 par le Flamand Ortélius, d'Anvers, accompagnée vers l'est, et sur le même parallèle, de trois îles espacées de quelques degrés les unes des autres. Le routier portugais la plaçait, dit d'Après, sur la latitude même de la Trinité. Les Portugais figuraient également des îles à l'est de ce dernier îlot : les Martin-Vaz, à 120 lieues (6°) et Santa Maria d'Agosta dans leur voisinage. Frézier, à son retour, touche à cette île de l'Acençaon, dont on orthographie le nom à la portugaise, dit-il, pour la distinguer de l'Ascension d'Afrique. Il remarque qu'on peut la recon-

naître à trois îlots qui en sont très près, à l'est « ce qui a donné occasion de croire que cette île et celle de la Trinité n'étaient que la même ». Il n'ignore pas que des vaisseaux ne l'ont pas trouvée ; mais il sait aussi que d'autres l'ont reconnue en revenant des Indes Orientales, et qu'ils y ont fait de l'eau dans un étang. « C'est donc mal à propos », d'après Frézier, qu'Halley, qui l'avait vainement recherchée vers 1700, « l'a supprimée sur ses cartes ». Olivier Van Noort était aussi allé à sa découverte en 1599. La Compagnie française des Indes la fit également et toujours en vain rechercher par l'*Oiseau* et l'*Hirondelle* en 1731 ; et elle recommença en 1739. En 1752, une fois de plus, elle ordonna à d'Après, qui rentrait en France, d'aller à sa découverte. Celui-ci navigua sur le parallèle de l'archipel sans trouver ni les unes ni les autres ; et il revint convaincu que seuls existaient la Trinité et, à l'est de celle-ci, quelques rochers très rapprochés d'elle, à 15 ou 20 milles. Cependant, à son passage à Rio de Janeiro, des capitaines lui avaient affirmé avoir relâché aux îles Martin-Vaz et y avoir fait du bois et de l'eau « dont elles sont abondamment pourvues » ajoutaient-ils. Une dizaine d'années après, d'ailleurs, il croit de nouveau à l'existence de l'Ascension de l'Ouest parce qu'en 1760 Duponcel-la-Haye, de la même Compagnie que lui, allant de l'Ile-de-France à Rio de Janeiro, affirmait avoir reconnu la Trinité, puis l'Ascension de l'Ouest, à 100 lieues (5°) à l'ouest, un peu plus au sud, toutefois, et avoir ensuite atterri au cap Frio d'Amérique. Et Suffren, en 1781, se servit des estimations de Duponcel-la-Haye pour fixer la longitude de la Trinité. Il l'avait exactement déterminée par l'observation de distances lunaires ; mais il choisit comme longitude véritable la moyenne entre son résultat et l'estime de Duponcel et commit, ce faisant, une erreur de 1°,25.

L'histoire de l'Acençaon n'était pas finie. En 1784, le gouverneur général du Brésil essaya de la retrouver encore et Lapérouse, en 1785, Krusenstern, en 1801, Freycinet en 1817 la recherchèrent de nouveau. Cette même année, Devaux, comptant sur son existence, faillit périr. Il commandait la *Jeune-Sophie*, destinée à Bourbon. Or, arrivé vers l'île de la Trinité, ce bâtiment, qui

portait du vitriol, eut un incendie à bord, et Devaux, dépassant cette île, et « regardant l'Ascension comme un dernier refuge », se résolut tout d'abord à tenter d'atterrir à Rio pour sauver son bâtiment. Mais le feu prit de telles proportions qu'il revint en arrière et s'échoua sur la Trinité. Elle était d'ailleurs supprimée alors sur les cartes françaises, anglaises et portugaises. Cependant le général Milet-Mureau, du corps du génie, rédacteur du voyage de Lapérouse, n'était pas convaincu de son inexistence, car l'enseigne Lépine lui avait assuré avoir relâché à la Trinité et à l'Acençaon.

Enfin, le 20 avril 1826, Bougainville le fils s'en trouve à 40 lieues à l'est et regrette de ne pouvoir, faute de temps, faire de nouvelles recherches « bien que l'opinion généralement reçue aujourd'hui, dit-il, est que cette île n'existe pas ». (1).

De semblables erreurs s'expliquent très simplement. Les îles fictives sont toujours sur la même latitude que les îles réelles, et les distances qui les en séparent sont toujours du même ordre que les erreurs de l'estime. Il faut donc attribuer leurs prétendues découvertes aux erreurs sur la longitude estimée. A cause de ces dernières, le navigateur qui voyait une terre, se croyait à l'est ou à l'ouest de quelques degrés de sa vraie position et il portait une nouvelle île sur la carte. Ainsi la partie pélagique des océans était en quelque sorte figurée plusieurs fois, les diverses représentations pouvant se ramener les unes aux autres par des glissements le long des parallèles.

Chappe dit du bâtiment qui avait commis une erreur de 100 lieues dans le voisinage des Bermudes que c'est miracle qu'il ne se soit pas échoué sur des écueils qui se trouvent dans l'est de l'archipel à cette distance. Ces roches sont en effet portées encore sur les cartes jointes au voyage de Verdun, éditées en 1778. Or, à 100 lieues à l'est des Bermudes, il n'y a que des fonds d 4.700 mètres.

---

(1) Ajoutons le cas de l'archipel de los Majos qui, jusqu'à Lapérouse, doubla les Sandwich à 16 ou 17° à l'est.

Les cartes étaient encore compliquées par les *vigies* dont elles étaient abondamment semées. C'étaient des écueils qu'on croyait avoir aperçu en haute mer et qu'on signalait sans avoir pris la peine d'en vérifier l'existence ; faute le plus souvent de moyens de le faire avec exactitude. Puisque ces écueils n'existaient pas, ils n'étaient pas un danger par eux-mêmes ; mais, comme on cherchait à les éviter, ils compliquaient la navigation. Nous avons noté quelques-unes des nombreuses causes auxquelles on peut les attribuer. Il y a d'abord les erreurs de l'estime qui ont fait mal placer une terre réellement aperçue. Ensuite, d'Après parle de coups de tangage violents qui font croire quelquefois aux navigateurs qu'ils ont touché. Voici une troisième cause. Dans le journal de bord de Suffren, on lit que le 17 octobre 1781, l'armée faisant route pour la côte de Coromandel, « on a cru voir des brisants au N.N.O. ». Mais on sonda un quart d'heure sans rien découvrir ; « notre erreur, est-il dit alors, est sûrement provenue des rayons du soleil qui donnaient dans cette partie ». Ces sortes d'illusions peuvent donc avoir fait croire à une vigie. Relatons maintenant une observation que nous devons à Chabert. A son retour du voyage de 1751, étant à 70 lieues de Corve et Flore, à l'ouest des Açores, ils aperçurent sur l'eau quelque chose de noir autour duquel volaient des goélands, qu'ils prirent pour des rochers, même à la lunette. Mais il n'y avait pas de brisants. On alla à la reconnaissance en canot et on découvrit que ce n'était qu'une baleine pourrie d'une grosseur monstrueuse. « Si on ne s'était pas assuré du contraire, fait-il remarquer, beaucoup de personnes seraient restées persuadées qu'on avait rencontré une vigie. » D'ailleurs la plupart des marins, Bougainville par exemple, pensaient que la vue de bandes d'oiseaux indiquait la proximité d'une terre ou d'une vigie.

C'est dans ce chaos, c'est aux prises avec ces difficultés qu'on naviguait ; et il faut admirer le courage de ces hommes qui risquaient leurs vies sur de pareilles incertitudes. Ils étaient tenus à des précautions qui se traduisaient par des pertes de temps. On sondait beaucoup avant les atterrissages : Frézier, en 1712, sonda

toute la nuit avant d'atterrir à Sainte-Catherine du Brésil. Par brume, on tirait du canon, pour écouter l'écho renvoyé par la terre, comme fit Suffren le 22 décembre 1783 pour atterrir à Table bay. La nuit, dans des parages trop mal connus, ou quand on était tout à fait dérouté, on faisait petites voiles ou on mettait en panne pour attendre le jour. Ainsi fit Frézier encore, poursuivant sa route vers le sud pour atteindre la Terre de Feu et le détroit de Maire. Il y perdit deux nuits. Le procédé classique pour atterrir après une longue traversée consistait à se mettre sur le parallèle du lieu où on voulait reconnaître la terre — car on pouvait avoir des latitudes à peu près exactes — à une distance plus grande que l'erreur estimée sur la longitude, et au vent ; puis on marchait par la même latitude jusqu'à l'atterrissage. Mais cela aussi allongeait la route. De plus, quand la latitude de la carte était erronée, on était sujet à des méprises. Les pertes de temps pouvaient devenir alors considérables, et on souffrait à la mer, à ces époques.

D'Après, en 1752, s'aperçoit que la latitude de la partie sud de l'Ile-de-France est erronée et qu'il faut réduire son étendue de 3/7 « ce qu'on ignorait depuis trente ans que nous habitions cette île » dit-il. Cette erreur expliquait que des bâtiments aient manqué l'île, la nuit, et se soient trouvés à l'ouest et sous le vent, le jour suivant. Il leur fallait alors revenir sur leurs pas ; mais les vents étaient debout. Or si on mettait 24 heures pour aller de l'Ile-de-France à l'île Bourbon, on employait jusqu'à trois semaines pour faire la route inverse, parce qu'il était nécessaire, dans ce cas, de descendre dans le sud pour s'élever au vent en profitant des brises variables qui soufflent sous la zone des alisés. Il fallait faire à peu près la même chose quand on avait manqué l'Ile-de-France.

D'après Rochon, jusqu'en 1775, la latitude de Safi, sur la côte du Maroc, était de même erronée, de sorte que des bâtiments à destination de Safi allaient quelquefois, par erreur, atterrir à Mogador à 1° plus au sud. Ce n'était pas loin ; mais l'alisé de N.E. était juste opposé à la route du retour et il fallait 5 à 6 jours pour rallier Safi. Rochon rectifia cette latitude. On se trompait aussi sur l'estimation de l'erreur en longitude ; on se croyait par exemple à

l'est, alors qu'on était à l'ouest ou vice-versa. Tels furent, en 1750, d'Après et La Caille, sur le *Glorieux*, vers les îles du Cap-Vert. De même ils n'avaient pas trouvé Madère. Cette île était d'ailleurs difficile à apercevoir. En novembre 1761, le *Deptford* quitte Portsmouth pour un voyage célèbre, à destination de la Jamaïque. Il avait à son bord Littleton, gouverneur de cette colonie. Un autre bâtiment, le *Beaver*, était parti 10 jours avant lui afin d'arriver à Madère à temps pour y annoncer le passage de Littleton. Mais le *Beaver* se croyait à l'est de Madère alors qu'il en était en réalité à l'ouest ; il fit donc route à l'ouest, à la latitude de Madère, prenant ainsi le large ; et il s'aperçut de son erreur assez tard pour n'arriver à Funchal que trois jours après le *Deptford*. Cette erreur était si commune, dit la relation du voyage, que des vaisseaux marchands qui marchaient de conserve avec le *Deptford* avaient fait plusieurs fois le voyage sans jamais apercevoir le petit archipel.

Quand les navires se trompaient grossièrement sur la latitude, ne l'observaient pas ou ne pouvaient tomber sur celle qu'ils cherchaient, il pouvait en résulter des inconvénients graves. Le *Glorieux*, porté par les vents au nord du Cap, à l'atterrissage sur ce point, mit 20 jours, du 30 mars au 19 avril, pour atteindre Table bay à cause « des vents contraires et de leur peu de connaissance de la côte » dit La Caille. Mais le cas suivant est encore plus typique. La *Sainte-Anne* avait quitté l'escadre de Suffren le 16 avril 1781, jour du combat de La Praya. Elle fit route toute seule pour Le Cap, dont elle se trouvait à 50 lieues à l'ouest, à l'atterrage le 20 juin. Mais, croyant l'avoir dépassée dans l'est, elle remonta dans le nord. Elle fit donc route au large de la côte occidentale d'Afrique et elle ne reconnut la terre que par 26° de latitude sud, à la Grande-Pequeña. C'était 9° au nord du Cap. Ils n'avaient pas été longs à franchir ; mais pour redescendre dans le sud, il fallait lutter contre des vents debout ; les mêmes qui avaient tant fatigué les Portugais du xve siècle. Aussi n'arriva-t-elle que le 2 août, 42 jours après Suffren ; « ayant perdu, par suite de cette erreur inouïe, la moitié de son équipage ».

Une négligence de plus, et le naufrage était l'aboutissement de toutes ces méprises. Le père Tachard, un des Jésuites de l'ambassade au Siam, raconte celui d'ambassadeurs Siamois destinés au Portugal, sur la côte sud d'Afrique. Ils étaient partis de Goa le 27 janvier 1686 sur un vaisseau portugais, de 150 hommes et 30 pièces de canon. La traversée fut qualifiée d'heureuse jusqu'au 27 avril. On avait alors la terre en vue depuis trois jours et on pensa apercevoir le Cap de Bonne-Espérance. Jugeant qu'il était dépassé, on porta donc la route au nord ; deux ou trois heures après le coucher du soleil. On veillait mal ; tout à coup on aperçut sur la droite une ombre épaisse et peu éloignée et aussitôt le navire s'échoua. Bientôt il fut disloqué sur les brisants, car les vents le poussaient à terre. Ils étaient si éloignés du Cap que les survivants mirent 31 jours pour y parvenir à pied, le long de la côte.

En 1700, un grand navire de la Compagnie anglaise des Indes Orientales et un autre, venant de Boston, font naufrage près de l'île Mayotte, qu'ils ont prise pour celle de Moali et il y a entre elles une distance en latitude de 30' et une différence de longitude de 1°,5.

Radouay et Chabert attribuent la plupart des naufrages à « la fausseté des cartes sur les positions en longitude des terres, îlots, vigies » ; celui de la flûte le *Chameau* fut dû, d'après le premier, à ce que sur les anciennes cartes la distance du Grand-Banc au Cap Breton était portée trop grande de 20 lieues.

En 1755, le *Dodington*, au service de la Compagnie anglaise des Indes Orientales, part de la rade des Dunes. Après avoir doublé le Cap de Bonne-Espérance et les Agulhas, il fait route à l'est pendant 24 heures, par une latitude sud de 35°,5 ; puis il remonte à l'E.N.E. Une vingtaine de jours après il se perdit « sur une petite île formée d'un rocher stérile et inhabité à 33°43' de latitude sud et à environ 250 lieues du Cap. » Il est d'ailleurs impossible de situer exactement le lieu du naufrage, causé par une grosse erreur de navigation. Les survivants, quelques mois après, finirent par arriver à la rivière Sainte-Lucie.

Dans la relation manuscrite de son voyage à Rodrigue, où il se rendait pour observer le passage de Vénus de 1761, Pingré raconte que son bâtiment a failli périr à l'aller sur les îles du Cap-Vert, par suite des erreurs des cartes. En effet, ils étaient passés, de nuit, sans s'en douter, à toucher Boa Vista ; ce qui fit dire à un plaisant du bord que « ce n'était pas sans fondement qu'on lui avait dépeint leur vaisseau comme excellent, puisqu'il fendait les terres et les rochers avec autant de facilité que les ondes de l'océan ». L'année suivante, en 1762, le *Dromadaire*, moins heureux, fit naufrage sur l'île Saint-Vincent du Cap-Vert, par suite d'une erreur des cartes en latitude et, dit d'Après, parce que sa route était mal dirigée.

Chappe, dans son mémoire de 1764, cite un ouvrage anglais sur la longitude où il est dit que « depuis 21 ans, plusieurs vaisseaux ont péri par suite de méprises sur la longitude ». Tels sont « le *Littchfield*, le *Ramillies*, le *Humber*, le *Dodington*, etc. ».

Nous terminerons par le naufrage de l'*Union*. Ce bâtiment était parti le 1er novembre 1775 de Ritzembutel (Cuxhaven) pour Gibraltar. Le 14, le vaisseau faisant beaucoup d'eau fut abandonné par la majeure partie de l'équipage. Ceux qui restaient s'estimaient à 40 ou 50 milles du cap Finistère. Ils finirent pourtant par s'échouer, le 15, sur un banc de sable de la côte de l'île de Ré. On y entretenait déjà, dit la relation, à l'extrémité la plus occidentale, sur une haute tour, appelée la Tour des Baleines, un feu considérable, avec de l'huile.

On comprend maintenant que des efforts aient été faits pour améliorer cet état de choses. Ces difficultés, ces dangers, ces naufrages, retardaient la marche des relations des hommes et le commerce du monde ; et trop de vies et d'argent y étaient intéressés. D'ailleurs, on ne pouvait compter sur les pilotes. Ils étaient pour la plupart ignorants et incapables. Trop souvent, ils faisaient des mystères pour cacher leur ignorance, et, par des opérations arbitraires, ils ajoutaient des erreurs nouvelles aux erreurs inhérentes à leurs procédés. Radouay a connu un vieux pilote qui se refusait à admettre une erreur dans la distance de Brest au Grand-Banc ;

« il demeurait ferme dans son opinion, comme jadis les vieux médecins contre la circulation ». Pour ne pas être obligé d'avouer son erreur, il fit une traversée avec une ampoulette de 24 secondes et il reculait encore son estime de 1 /8 sous prétexte que la lame de l'ouest le reculait d'autant. Mais Radouay découvrit la fraude. Il fit tant, du reste, que le vaisseau se trouvait sur le Grand-Banc alors qu'il s'en croyait encore à 50 lieues.

Quelquefois, ils corrigeaient leurs points après l'atterrissage, pour donner à leurs résultats l'apparence de l'exactitude. Tel est sans doute ce qui explique le changement en longitude de 7°,6 au lieu de 2°,5 qui correspondent à la route ordinaire, qu'on trouve dans le journal de Suffren, entre les 14 et 15 juin 1781 ; changement qu'on est tenté d'abord de ne compter que de 3° parce que les pilotes ont fait traverser le méridien de Paris à la flotte dans cette journée, en ayant soin de ne pas faire suivre les longitudes des lettres O. et E. La première est simplement donnée de 5°19' ; la deuxième de 2°19'. Le subterfuge est grossier.

Ce n'était pas ainsi qu'on pouvait aboutir ; car la science la plus haute et l'art le plus achevé pouvaient seuls solutionner le problème. Il fallait travailler, d'abord en dehors des sphères maritimes proprement dites. Et cette science, qui était l'astronomie, se trouva ainsi déterminée à progresser sous une impulsion d'ordre essentiellement pratique : le besoin de trouver une solution au problème de la longitude. Or c'est son développement qui fixa presque à lui seul, au XVIIIe siècle au moins, la forme de l'esprit scientifique.

L'ACTE DE 1714. — LE PRIX ROUILLÉ

LE BUREAU DES LONGITUDES

Ceux qui cherchaient à découvrir le secret des longitudes étaient stimulés par la promesse de récompenses. D'après Guillaume le Nautonnier, Jean II de Portugal avait convié des mathématiciens à la recherche du problème ; et Morin annonce que Philippe II aurait fait une vague promesse de récompense. Philippe III est le premier à s'être engagé solennellement, vers 1600, à donner 120.000 piastres à celui qui résoudrait la question. Après lui, les Etats Généraux de Hollande, ne voulant pas rester en arrière, promirent 30.000 florins. Tout cela ne paraît avoir eu pour résultats que la production d'un grand nombre de mauvais projets, dus à des auteurs incapables et trop pressés, dont quelques-uns mêmes, suivant la remarque de Fleurieu, ignoraient totalement la question.

Tout autre est l'acte célèbre du Parlement anglais, arrêté en 1714. Il fut pris sur l'initiative de Whiston et présenté par le général Stanhope Walpole, qui devint comte d'Orford et Samuel Clarke. Whiston, né en 1667, philosophe et mathématicien, était un ami de Newton, qui l'avait choisi comme substitut dans sa chaire de mathématiques de Cambridge. On lui doit une Cosmogonie, dans laquelle tous les accidents de l'histoire de la terre : inclinaison de l'équateur sur l'écliptique, ellipticité de l'orbite, déluge, sont dus à la rencontre de cette planète avec des comètes — il était contemporain d'Halley. — En 1713, avec Ditton, il

proposa une méthode pour la longitude en mer, au moins à proximité des côtes, par signaux de lumière et de son faits au moyen de gros canons, et c'est cette proposition qui, portée à la Chambre des Communes, décida le Parlement à voter l'acte de 1714. L'acte passa grâce à l'autorité de Newton, que Whiston eut l'habileté de mettre de son côté.

Sully en donne le texte, en 1726, dans le principal ouvrage qu'il écrivit sur son horloge. En voici des extraits : « D'autant qu'il est bien connu à tous ceux qui entendent la navigation que rien n'y manque tant ni n'est autant désiré sur mer que la découverte de la longitude... et d'autant que... plusieurs méthodes ont déjà été découvertes, vraies dans la théorie, quoique difficiles dans la pratique, dont il y en a quelques-unes qui pourraient être perfectionnées... et d'autant plus qu'une telle découverte serait d'un avantage particulier au commerce de la Grande-Bretagne et ferait honneur au Royaume... Pour ces causes soit ordonné... que les personnes ci-après nommées soient constituées commissaires perpétuels pour examiner... toute invention faite pour la découverte des longitudes en mer. » Les commissaires sont au nombre de 21 ; mais ils peuvent en choisir parmi eux 5 qui auront pleins pouvoirs pour l'examen en question. En font partie le grand-amiral de la Grande-Bretagne, les trois amiraux des escadres rouge, blanche et bleue, le président de la Société Royale — c'était Newton — l'astronome royal de Greenwich — alors Flamsteed —, trois professeurs de mathématiques d'Oxford et de Cambridge, le premier commissaire du commerce, etc.

Les promesses étaient splendides. L'acte, proposé en juin, arrêté en juillet par les deux Chambres, approuvé par la reine Anne le 20 juillet, portait que les inventeurs avaient droit aux récompenses suivantes : 10.000 livres sterling à celui qui assurait la longitude à 1° près ; 15.000 livres si elle était déterminée à 0°,75 près et 20.000 livres à 0°,5. « La moitié de chacune de ces sommes devait être payée aussitôt que les commissaires ci-dessus conviendraient que la méthode trouvée s'étend à la sûreté des vaisseaux à la distance même de 80 milles géographiques près des

côtes, qui sont les lieux où il y a le plus de dangers » ; clause obscure et vague quelque peu, mais qui s'explique très bien par le désir de Whiston d'obtenir une récompense pour son système ; et « l'autre moitié lorsqu'un vaisseau aura, par l'ordre des commissaires, fait un voyage sur l'océan depuis quelque port de la Grande Bretagne, jusqu'à quelque autre port de l'Amérique, au choix des commissaires » sans s'être écarté de la longitude au-delà des limites prescrites. La durée de l'épreuve fut du reste précisée plus tard et fixée à 42 jours, durée à laquelle on s'arrêta parce que c'était ordinairement celle des traversées de l'Atlantique. Il se trouvait aussi qu'elle représentait les durées des voyages en haute mer, sur la route des Indes Orientales. Les traversées de Suffren, allant à la côte de Coromandel, et en revenant, étant en effet en moyenne de 43 jours et demi.

Enfin les commissaires étaient autorisés à disposer de sommes d'argent en faveur des savants ou des artistes qui leur paraîtraient avoir des idées susceptibles de donner la solution cherchée et Courtanvaux nous apprend qu'en 1768, 16 à 18.000 livres avaient été ainsi distribuées à titre d'encouragement ou pour essais. D'ailleurs les auteurs de propositions n'étaient pas tenus à être Anglais ; ils pouvaient appartenir à une nationalité quelconque.

Cet acte eut un immense retentissement. Il fut toujours considéré comme la base d'appréciation de tous les moyens proposés pour la découverte de la longitude ; et il devait cette autorité en particulier à Newton qui avait été consulté pour en fixer les termes. Cependant celui-ci avait agi sous l'inspiration intéressée de Whiston, de sorte, dit Delambre, que le rôle joué par Newton en cette circonstance ne fut pas très brillant : « il confirmerait, ajoute-t-il, l'idée qui a été assez répandue, que dans les trente dernières années de sa vie, le grand homme n'était que l'ombre de lui-même. »

La France n'eut pas la même initiative. L'Etat ne promit rien ; mais, si, au commencement du XVIIIe siècle, un Bureau des Longitudes n'y fut pas créé, les chercheurs « dont le cœur véritablement français était plus sensible à l'attrait de la gloire qu'à celui

de l'intérêt », furent stimulés activement par l'Académie des Sciences agissant comme exécutrice testamentaire du fondateur des deux premiers prix de l'Académie. En 1715, Rouillé de Meslay, conseiller au Parlement, dont la famille donna plus tard un ministre à la marine, « ayant conçu le noble dessein de contribuer aux progrès des sciences et à l'utilité que le public en doit retirer », légua à l'Académie Royale des Sciences « sous le bon plaisir de Sa Majesté » un fonds pour deux prix. Les sujets du premier devaient regarder le système général du monde et l'astronomie physique. Aux termes du testament, il était annuel et de 2.000 livres ; mais le taux de l'intérêt ayant diminué, il fut porté à 2.500 livres et proposé tous les deux ans seulement. Les sujets du second, pour lequel il s'était sans doute inspiré de l'exemple de l'Angleterre, devaient regarder la navigation et le commerce. Décerné tous les deux ans, il était de 2.000 livres. Nous verrons que ce second prix fut l'occasion d'un grand nombre de travaux se rapportant à la longitude. Il paraît que le fils du fondateur tenta de faire casser le testament et que même les héritiers du fils essayèrent des manœuvres semblables ; mais les uns et les autres plaidèrent sans succès et, dès 1720, des pièces furent présentées au jugement de l'Académie.

C'est là à peu près tout ce que nous avons eu à mettre en parallèle avec l'acte de 1714 jusqu'à la fin du siècle. Ce n'est d'ailleurs qu'en 1780 qu'il se trouva un second donateur.

L'histoire de l'Académie dit qu'en 1722 le Régent promit une récompense à tout auteur d'un projet sérieux pour la longitude ; mais nous n'avons rien trouvé de précis sur cette promesse, souvent rappelée cependant.

Nous avons eu toutefois, et nous avons en France, un Bureau des Longitudes. Seulement ses attributions n'ont pas été limitées comme celles du bureau anglais. Comme il a été fondé par la *Convention* le 27 juin 1795, la longitude à la mer ne pouvait en effet être son but exclusif, puisqu'à ce moment la question était correctement résolue. Mais il a eu son importance en poussant au perfectionnement des moyens nécessaires, et parce qu'il s'est subs-

titué, en ce qui concerne la navigation, à l'Académie Royale des Sciences de l'ancien régime, en particulier pour la publication de la *Connaissance des Temps*. Il appartient donc à notre histoire, qui ne sera pas close du reste au moment de sa fondation ; et, de toute façon, il est intéressant de comparer ses origines à celles du Board of Longitudes.

Lalande dit que Lakanal le consulta à son sujet ; mais c'est au sénateur Grégoire qu'on est redevable de son institution. Son discours prouve qu'il s'inspirait de l'Angleterre. Les fragments qui suivent en donneront une idée suffisante : « Thémistocle disait : quiconque est maître de la mer, l'est de la terre... Le trident de Neptune est le sceptre du monde... Les succès des Anglais, spécialement dans la guerre de 1761 — la guerre de Sept-Ans — n'ont que trop prouvé que la supériorité de la marine décide souvent du sort de la guerre... Une des mesures les plus efficaces pour étouffer la tyrannie britannique, c'est de rivaliser dans l'emploi des moyens par lesquels cet Etat... est devenu une puissance colossale. Or, les Anglais, bien convaincus que sans astronomie, on n'avait ni commerce, ni marine, ont fait des dépenses incroyables pour pousser cette science vers son point de perfection... Le point de vue sous lequel il nous importe de considérer l'astronomie, c'est relativement à son influence sur la marine et le commerce, qui firent la gloire et la richesse de Carthage... La découverte la plus importante, qui avait d'abord été considérée comme une chimère... est la détermination des longitudes... Presque toutes les nations qui fréquentent la mer ont ouvert des concours relatifs aux longitudes ; mais rien n'égale ce qu'a fait l'Angleterre à cet égard. » — Ici prend place un résumé de l'acte de 1714 et un court historique de la question en France. — « La prospérité du commerce, la sécurité de nos vaisseaux vous intéressent, la vie des marins vous est chère et vous ne voulez pas qu'elle soit abandonnée aux erreurs d'hommes incapables... Il faut leur donner des règles sûres et par là dompter les fureurs de la mer et tromper les caprices de cet élément... La confection du *Nautical Almanac* est confiée à un établissement pour lequel les Anglais n'ont rien

épargné... à un Bureau des Longitudes, tel que celui dont vos comités — de Marine, de Finances et d'Instruction publique — vous proposent la formation. »...

Le décret suivit le discours. Le Bureau était chargé en particulier de publier la *Connaissance des Temps*, recueil d'éphémérides construit à l'usage des astronomes et des navigateurs, et de perfectionner les méthodes des longitudes. Il fut composé d'abord des géomètres Lagrange et Laplace ; des astronomes Lalande. Cassini, Méchain et Delambre ; des deux navigateurs Borda et Bougainville. Enfin, en faisaient encore partie le géographe Buache et l'artiste Carochez, à qui Rochon disait qu'on aurait dû substituer Ferdinand Berthoud ; de même qu'il trouvait qu'il avait acquis assez de titres à la reconnaissance de la marine pour mériter d'être également choisi.

LES PROGRÈS DE L'ESTIME
ET LA MÉCOMÉTRIE DE L'AIMANT

On fit des tentatives pour améliorer les instruments de l'estime et même quelques efforts pour l'étude des courants.

Quelques-uns cherchèrent à obtenir une précision illusoire avec le loch ordinaire. Goimpy, en 1766, pour assurer la navigation côtière, signale quantité de précautions à prendre dans son emploi. Le sablier doit avoir de 29 sec. 1 /3 à 29 sec. 1 /2 seulement, parce que les commandements, pendant qu'on lance le loch, ne sont pas exécutés instantanément. Il veut qu'on tienne compte de la variation de longueur de la ligne à l'usage, de l'erreur de « $\frac{1}{300}$ » provenant de ce que le touret n'est pas au niveau de l'eau, d'où formation de chaînette ; de la différence à 24 heures du jour du bâtiment qui change de longitude : elle est de + 20 minutes pour un bâtiment qui fait 70 lieues à l'ouest en un jour, sur le parallèle de 45° ; qu'on ne néglige pas l'ellipticité de la terre. Enfin, il fait remarquer que le vent donne une vitesse aux eaux superficielles et que celles-ci, dès lors, entraînent le loch. Il estime cette vitesse à $\frac{1}{29}$ de la vitesse du vent. Il n'oublie que le principal : de dire que c'est auprès des côtes qu'on trouve les courants les plus violents et les plus variables.

En 1732, l'académicien Pitot, futur directeur du canal du Languedoc, propose « une machine approuvée par l'Académie pour mesurer la vitesse des eaux et des bateaux ». C'est déjà le loch

connu aujourd'hui sous le nom de loch de pression et l'origine du tube de Darcy. L'instrument était composé de deux tubes verticaux. L'un d'eux était recourbé horizontalement sur une petite longueur, à son extrémité immergée ; et cette partie horizontale devait être orientée en sens inverse de la marche du navire. Il est clair que dans ces conditions la différence des niveaux de l'eau dans les tubes est fonction de la vitesse. Pitot recommandait de placer la machine à bord dans le milieu du vaisseau, sous le maître bau, afin de la soustraire autant que possible aux agitations de la mer. A leur extrémité inférieure, les tuyaux pouvaient être faits de plomb, de cuivre ou d'étain ; ils avaient de 3 à 4 lignes (7 à 9 mm.) de diamètre, et ils étaient surmontés de tubes de verre. Enfin, l'inventeur donnait une table propre à l'usage de l'instrument. On y voit que lorsque la vitesse varie de 2,5 à 3 lieues (7,5 à 9 nœuds) la différence des niveaux varie de 31 à 41 pouces (84 à 110 cm.) (1).

Bouguer, qui avait étudié quelques questions de navigation pendant son voyage en Amérique, avait cherché à améliorer le loch ordinaire. On voit, par son mémoire de 1747, qu'il voulait surtout trouver un moyen de le soustraire au courant, afin de mesurer non pas la vitesse du bâtiment par rapport à la masse d'eau dans laquelle il flotte, mais sa vitesse réelle sur le fond de la mer. On croyait généralement à cette époque que les courants étaient dus uniquement aux vents et qu'ils étaient tout à fait superficiels. Le moyen de Bouguer consistait alors à construire le loch d'un flotteur de surface, de faible dimension, et ayant une flottabilité juste suffisante pour soutenir un corps à grande surface, immergé à 50 pieds (16 m. 20) sous lui. Il pensait que ce loch ne prendrait par le flotteur superficiel qu'un cinquième de la vitesse du courant ; et qu'on pourrait mesurer la vitesse de celui-ci en comparant les indications de son appareil à celles d'un loch du type ordinaire. Le capitaine anglais Phipps, dans un voyage au Spitzberg, en 1773, essaya ce système de Bouguer. Il

(1) La table répond à la formule : $v^2 = 2 \times 9{,}05\ h$; v et h étant des mètres.

s'en servit pendant cinq jours à l'aller et pendant treize au retour. La première fois il trouva une différence de 2' seulement entre sa latitude estimée et sa latitude observée, la deuxième fois une différence de 31'. Il en conclut que le loch proposé lui avait donné de meilleurs résultats que le loch classique. Il faisait remarquer que le loch essayé était mieux que l'ancien à l'abri des inégalités provenant des agitations de la surface de la mer ; que le frottement de la ligne sur le dévidoir avait moins d'effet sur lui, parce qu'il était plus stable dans l'eau ; mais il ajoutait qu'on ne saurait tirer aucune conclusion de ses expériences

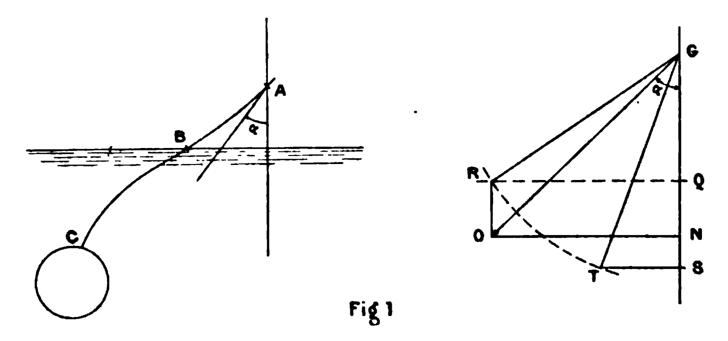


Fig 1

trop peu nombreuses pour comporter un jugement certain.

Bouguer a aussi proposé un second système de loch dans lequel la vitesse était mesurée par le choc ou impulsion de l'eau sur un corps immergé. Ce nouveau loch se trouve encore décrit dans l'édition de 1781 de sa *Navigation.* Un boulet de 1 pied (0 m. 32) de diamètre, immergé à 40 ou 50 pieds de profondeur, est remorqué par le bâtiment. Il s'agit d'abord de déduire la résistance de l'eau à la propulsion du boulet, de la mesure de l'angle α formé entre la verticale et la remorque au point d'attache, et de celle de la tension de la remorque en ce point. Prenons GO égal à la tension en A et faisant l'angle α (fig. 1) avec GN. En retranchant de GN, composante verticale de GO, le poids QN de la partie AB de la remorque qui est au-dessus de l'eau, on trouve en GR la tension en B. Supposons la corde de même densité que l'eau. Négligeons la résistance de la corde (nous donnons la mé-

thode proposée aux pilotes), les tensions en B et C sont alors les mêmes. Or la tension en C est la résultante du poids du boulet dans l'eau et de la résistance de l'eau. Prenons par suite GS égal au poids du globe dans l'eau. Si GT = GR, TS représente l'impulsion cherchée. Pour avoir la tension en A, il proposait d'attacher la remorque à un fléau de balance ou à un peson allemand. D'autre part, le poids du boulet dans l'eau est de 64 livres. Enfin il faut relier la vitesse à l'impulsion. Cela était facile grâce à des expériences, dues en partie à Newton, qui avaient montré que si Z est la hauteur de chute nécessaire à un corps libre pour atteindre la vitesse du boulet, l'impulsion est égale au poids d'une colonne d'eau dont la base est le grand cercle du boulet et la hauteur $\frac{1}{2}$ Z. Mais ce principe est très erroné quand la vitesse devient grande. Il n'est pas non plus très exact aux très petites vitesses. Nous ne savons pas si ce loch a été employé. Il donnerait peut-être de bons résultats, à condition de dresser une table empirique reliant la tension au point d'attache à la vitesse. Bouguer dit que pour une vitesse de deux lieues, l'impulsion est de 42 livres 8 onces.

De Gaulle, plus tard, imagina de relier un cône de bois à base de plomb, de 6 pouces (16 cm.) de diamètre, à une ligne de 25 brasses (46 m.) attachée à un ressort recourbé dont le déplacement sous l'effet de l'impulsion de l'eau sur le cône était apprécié par une aiguille.

Dans le voyage de l'*Enjouée*, en 1768, un jeune Allemand, du nom de Wallot, amateur d'astronomie, se fit embarquer sur la corvette pour essayer un loch à moulinet dont les tours s'enregistraient sur un cadran à bord. Deux lancements eurent lieu ; mais à chacun d'eux un cylindre dans lequel tournait le moulinet fut arraché et les expériences ne purent être poursuivies. Nous usons aujourd'hui d'instruments basés sur le même principe.

Les courants, dont Bouguer essayait de s'affranchir, furent l'objet d'un prix proposé par l'Académie pour 1751. Daniel Bernouilli envoya une pièce. Il ne rapportait aucun fait précis ;

mais il se rattrapait grâce à son imagination. Au point de vue des connaissances géographiques sur les courants, il se bornait à peu près à dire qu' « on ne savait presque rien de la direction et de la vitesse des courants réels ». Il proposa, pour les mesurer, la machine à impulsion de Bouguer ; et, pour remplacer le manque de faits, il donna des théories sur la nature et la cause des courants. Voici le résumé de ses idées. L'atmosphère terrestre ne peut être enveloppée de vide (Descartes mourut en 1650). Dès lors, le corps qui l'entoure doit retarder sa rotation, et, de proche en proche, la rotation des couches atmosphériques voisines de la surface de la terre. Celles-ci ont donc, par rapport à la terre, une vitesse relative dirigée d'est en ouest. A leur tour, elles entraînent vers l'ouest les couches superficielles des océans. Il croyait expliquer ainsi les alisés et les courants intertropicaux dirigés vers l'ouest. Mais suivons-le dans toutes ses déductions. Il se demande quel va être l'effet d'un barrage continental dirigé du nord au sud, comme celui que réalise le continent américain. Voici sa singulière réponse : le mouvement des eaux vers l'ouest doit entraîner une surélévation du niveau de la mer sur les côtes orientales du barrage ; un abaissement de ce niveau sur les côtes occidentales. Ainsi les eaux doivent être plus hautes sur les côtes Atlantiques de l'Amérique, que sur les côtes Pacifiques du même continent ; et le baromètre doit être plus bas à Cayenne qu'à l'Equateur. En effet, dit Bernouilli, Bouguer a trouvé à l'Equateur une hauteur barométrique de 28 pouces 1 ligne, tandis que Richer n'a mesuré à Cayenne que 27 pouces 1 ligne, soit un pouce (27 mm.) de moins. Il en conclut que la différence des niveaux doit être de 152 toises (300 m.). Il est vrai que cela ne paraissait pas avoir lieu des deux côtés du canal de Panama, mais cela devait tenir, pensait-il, à des circonstances particulières. On voit tout ce qu'il y a de fantaisiste dans ces vues ; mais c'était aussi le temps où d'Alembert expliquait les vents alisés par l'attraction du soleil et de la lune sur l'atmosphère ; et tout cela était dû à ce que la mécanique céleste tendait alors à dominer la science et à lui donner sa forme.

Cette question des courants n'avança pas tant qu'on ne fut pas en mesure de pouvoir déterminer la longitude. Rochon, dans ses *Opuscules mathématiques*, parus à Brest en 1768, proposa, pour les mesurer, d'observer des angles horaires distants de quelques heures et de se munir d'une bonne montre, capable de conserver le temps local dans l'intervalle des deux observations. On pourra ainsi, dit-il, avoir le changement exact en longitude, donc le point, au moment de la deuxième observation, rapporté au lieu du navire au moment du premier angle horaire. Mais ce procédé ne pouvait avoir aucune précision. Supposons 4 heures entre les observations des hauteurs, sur lesquelles nous n'admettrons qu'une erreur de 2'. Dans les circonstances les meilleures, l'erreur sur l'angle horaire est égale à l'erreur sur la hauteur ; soit, ici, à 8 secondes. L'erreur moyenne de la différence des angles horaires est donc de $8\sqrt{2}$, soit de 11 secondes environ. Si la montre ne varie que de 1 minute par jour, cela fait, en 4 heures, une nouvelle erreur de 10 secondes. Au total, on a donc à craindre une erreur de 20 secondes à peu près, soit à l'équateur, de 5 milles, ce qui fait, pour 24 heures, 30 milles. Mais les courants du large restent généralement au-dessous de cette valeur, d'où on voit que les erreurs de la méthode dépassent les valeurs de la quantité à mesurer.

Beaucoup de marins s'entêtaient du reste à nier les courants les plus probables, et dont les savants ne doutaient plus. Dans la zone torride, dit Bouguer, les courants portent à l'ouest et font 2 ou 3 lieues (6 à 9 milles) par jour. Il a vu des pilotes qui n'y portaient pas attention. Seulement, comme ils se trouvaient alors trop avancés à l'atterrissage, ils accusaient leur loch ou leur sablier et ils en altéraient les valeurs. « Ils ignoraient les mouvements secrets que la mer leur communiquait. » Et comme ils revenaient par le nord de l'Atlantique, ils n'étaient pas avertis par l'erreur énorme qu'ils auraient commise s'ils avaient pris au retour la même route qu'à l'aller.

On trouve plusieurs fois, dans le journal de Suffren, des observations analogues à la suivante. « Ayant le canot à la mer, nous avons profité du calme (ils sont entre les Mascareignes et la côte

de Coromandel) pour observer la direction des courants, et nous avons trouvé qu'ils nous portaient à l'E.N.E., faisant environ 2 nœuds. » D'après l'*Encyclopédie Méthodique*, on rendait alors la chaloupe fixe « au moyen de quelque corps pesant qu'on faisait descendre dans l'eau, jusqu'à atteindre la région des eaux calmes ». Le loch donnait ainsi la vitesse et la direction du courant. La région des eaux calmes, d'ailleurs, était estimée très proche. Rochon, en effet, raconte dans ses *Opuscules* qu'il essaya, mais sans plein succès, d'apprécier à la mer le courant superficiel, au moyen de deux morceaux de liège réunis par une corde de 10 brasses (18 m. 50) de long, dont l'un était lesté de manière à rester suspendu dans la *zone des eaux tranquilles*. Le loch de Bouguer lui avait donné cette idée. On conçoit quelles erreurs pouvaient résulter de semblables interprétations. La seule manière d'apprécier le courant en haute mer consiste à comparer le point estimé du bâtiment au point observé. C'est ce que fit, en 1769, l'enseigne de vaisseau Grenier. Au moyen des observations de longitudes de Rochon, il mit nettement en relief le parallélisme des courants du nord de la mer des Indes et des moussons. Plus tard, vers 1780, Chabert, dans l'Atlantique nord, observa des longitudes, afin de déterminer les courants. Il trouva entre autres que, de l'entrée sud du canal de Bahama jusqu'à la latitude de 30°, la vitesse du Gulf Stream allait de 3 à 3,5 milles à l'heure.

Les problèmes que posait la boussole furent l'objet de travaux plus considérables que ceux qui étaient relatifs au loch. L'Académie avait proposé l'aimant comme sujet de prix en 1744 ; et ce prix, qui fut remis à 1746, fut l'objet de quatre études dues à l'écuyer du Tour, Euler, Daniel et Jean Bernouilli. Il n'y est pas, à proprement parler, question de boussole marine. Les auteurs s'occupent presque exclusivement du magnétisme terrestre en général, et surtout de son explication et des propriétés de l'aimant. Les passages qui suivent donnent une idée des théories alors à la mode. Pour du Tour, lorsqu'un morceau de fer est aimanté, « les petits poils dont ses pores sont hérissés sont tous ou presque tous couchés dans le même sens, en sorte que la matière magné-

tique ne peut s'y introduire que par un seul bout ». Pour les Bernouilli, l'aimant est composé de fibres parallèles agitées d'un mouvement ondoyant, comme des cordes en vibrations, et leurs intervalles sont remplis de fluide magnétique que le mouvement ondoyant fait progresser dans un seul sens, grâce à un système de valvules analogues aux valvules sigmoïdes qu'on venait de découvrir dans les vaisseaux des animaux. Ils expliquaient l'existence des deux pôles par les deux courants qui résultaient de deux séries supposées de valvules opposées ; et ils ne négligeaient pas de conclure en écrivant qu' « il n'y avait rien là qu'on ne conçût avec la dernière facilité ». Après tout, nos conceptions modernes sont dérivées de celles qui précèdent, seulement nous les considérons comme des images et nos tendances vont vers la considération de forces pures, sans supports matériels ou mécanismes pour les produire.

Dans un mémoire de 1750, du Hamel, moins imaginatif et plus pratique, cherchait des moyens de perfectionner la boussole, si imparfaite que quelquefois les pôles s'y trouvaient multipliés, Knight en ayant trouvé jusqu'à 6 à 8. Pour cela il proposait d'augmenter la force directrice, de diminuer les frottements et d'éviter la mobilité des aiguilles à bord afin de ne pas avoir d'aiguilles « volages ». Le docteur Knight avait inventé « les moyens de donner le plus grand accroissement aux aimants artificiels » et du Hamel parvint, avec de très bons aimants artificiels substitués à l'antique pierre d'aimant, à faire des aiguilles quatre fois plus aimantées que les aiguilles ordinaires. Il leur donna la forme d'un parallélogramme terminé par deux pointes fort « obtuses », et une épaisseur de 1 /2 ligne (1 mm. 125). Pour diminuer les frottements, il employa le système imaginé par d'Anthaume. Le pivot était formé d'un fuseau de cuivre dont un des bouts était ajusté dans une chape d'agate ou de verre fixée à la rose, et l'autre dans une chape semblable fixée au pilier de la boussole. Du milieu du fuseau partait une verge qui portait trois petits poids capables de ramener à la verticale le fuseau et la rose. Il obtenait ainsi des aiguilles dont l'angle mort, quand

on les écartait de leur position d'équilibre, n'était que de 0°,5, quantité 6 à 12 fois plus petite que l'angle mort des anciennes aiguilles. Enfin, pour les empêcher d'être volages, il collait sous la rose de petites ailes de papier qui diminuaient beaucoup les oscillations. C'était déjà l'amortisseur barbelé.

L'Académie, après la réussite des horloges de Le Roy et Berthoud, choisit de nouveau pour sujet du prix de 1777 les boussoles de déclinaison et les lois de leurs variations. Le prix fut partagé entre Van Swinden, professeur de philosophie à Franeker, en Frise, et Coulomb, capitaine au corps royal du génie. Le travail de Van Swinden est très étendu. Il contient des études historiques et critiques, en particulier sur la meilleure forme à donner aux aiguilles de bord, question très débattue. On y voit la plupart des renseignements qui suivent. En 1705, La Hire avait rejeté les aiguilles en forme d'anneau, qui donnaient des déclinaisons différentes entre elles et aussi celles qui avaient la forme d'une navette ou d'une flèche. Les aiguilles en losange à quatre côtés ne valaient pas mieux, parce que « quand un des côtés perdait de sa force, le losange prenait une autre direction ». Van Swinden donne la préférence à celles qui sont faites d'un fil d'acier bien droit et un peu aplati. Fleurieu de même conseillait un barreau aplati taillé en pointe, de 6 pouces (16 cm.) de long, 3 à 4 lignes (6 mm. 7 à 9 mm.) de large et d'une demi-ligne d'épaisseur. En 1772, Borda avait proposé des aiguilles composées de quatre barres d'acier ; mais nous n'avons trouvé rien de précis ni de détaillé sur leur construction et il semble qu'on doive faire remonter l'origine véritable des roses à aiguilles multiples au danois Lous, officier de marine et hydrographe, qui préconisa, dans un traité publié à Copenhague en 1773, des aiguilles composées de plusieurs barreaux placés parallèlement les uns aux autres de part et d'autre du centre du mouvement, et à égale distance de ce centre. Tel est, en 1783, l'avis de l'*Encyclopédie méthodique*. Lous proposait de fixer les barreaux sur une latte de bois ou de cuivre perpendiculaire aux barreaux et portant la chape. Les aiguilles ainsi composées se dirigent vers le Nord avec plus de force, dit-il, car « la

somme des forces y accroît en plus grande raison que celle des masses ». Le Monnier, en 1776, parle de cette invention en décrivant une nouvelle boussole à quatre aiguilles, construite à Paris en 1775 « suivant la méthode pratiquée par quelques artistes du Danemark, et, vraisemblablement, par ceux de Londres ». Elle lui paraît trop lourde et il semble, d'ailleurs, n'y voir que l'avantage de ne pas créer des pôles multiples dans les aimants employés, ce que l'on craignait de faire quand on perçait l'aiguille au milieu, pour y ajuster la chape.

Dans son travail, qui est très attachant, Coulomb étudia longuement, par la méthode des oscillations, l'influence de la forme et des dimensions de l'aiguille sur l'intensité de l'aimantation. Il trouva aussi que pour un poids donné d'une rose, il valait mieux répartir ce poids entre plusieurs aiguilles séparées et parallèles ; parce que les petites aiguilles étaient plus fortement magnétiques que les grandes. Mais les roses à aiguilles multiples n'ont été employées que longtemps après, tard dans le XIXe siècle. Enfin, Coulomb termine par d'excellents conseils pour la construction d'une boussole marine. Il recommande de la composer de lames légères, parallèles et espacées de 4 à 5 lignes, de faire une rose légère, un pivot et une chape très durs. Il démontra qu'en perçant l'aiguille on n'altérait pas ses propriétés magnétiques. Les chapes étaient alors en verre ou en agate. Quant au style, on le faisait d'une aiguille à coudre ou bien d'argent ou d'or, très poli et « fort pointu ». Ajoutons que l'hypothèse du fluide magnétique s'écoulant le long des méridiens magnétiques perdit à cette époque de ses partisans. Coulomb ne croyait pas à cette image, suggérée par le spectre magnétique dessiné par la limaille de fer s'orientant le long des lignes de forces de l'aimant. Il la rejetait, parce que si le torrent de fluide eût été réel, les forces qui agissent sur l'aiguille ne devaient pas rester les mêmes, quelle que soit sa direction, ce qui avait lieu, et parce que ces forces étaient égales et opposées.

On s'occupait aussi d'améliorer les procédés employés pour observer la variation à la mer. Le prix de 1731, pour « observer

la déclinaison en mer », fut décerné à Bouguer, alors hydrographe du roi au Hâvre de Grâce. Il voulait donner le moyen de trouver cet élément en dehors des moments où le soleil est à son lever ou à son coucher, alors les seuls instants utilisés. Or, avec le compas azimutal à pinnules, le relèvement du soleil, lorsqu'il était un peu haut au-dessus de l'horizon, était à peu près impossible à prendre. On ne pouvait le faire, en effet, qu'en projetant l'ombre du fil tendu entre les pinnules sur la chape du centre du compas. Mais comme le fil n'était qu'à un demi-pouce (14 mm.) au-dessus de la rose, on était exposé à commettre des erreurs de 3 à 4° ou même davantage. Il vaut mieux, dit Bouguer, se servir d'un compas muni d'un style surmontant l'une des pinnules. Et pour faire l'observation dans ces conditions, il recommandait de tourner le dos au soleil et de projeter l'ombre de ce style sur la chape de la rose, tout en visant l'horizon à travers la pinnule portant le style, de manière à voir cet horizon par la tranche opposée à l'œil de la boîte de la boussole. Ainsi on était sûr, disait-il, de maintenir la rose horizontale. Il proposait même d'ajuster la boîte de la rose sous l'un des côtés d'un quart de cercle, ce qui permettrait de prendre à la fois la hauteur et l'azimut, en tenant tout l'ensemble à la main. Pour relever le soleil au moment du coucher ou du lever vrais, instants pour lesquels les amplitudes sont données dans les tables, il prescrivait de faire l'observation quand le bord inférieur du soleil était élevé de la moitié de son diamètre apparent au-dessus de l'horizon, règle à peine modifiée de nos jours, depuis Verdun. Il proposa encore de recouvrir la rose d'une double glace formant toit, munie d'un fil perpendiculaire au faîte et appliqué sur les glaces, de manière à former un plan vertical. En ajoutant un miroir incliné sous une des extrémités du fil, on facilitait l'observation. Mais Verdun, qui essaya ce compas sur la *Flore*, ne lui donna pas la préférence sur le compas de variation ordinaire. Bouguer avait joint à son travail des tables qui indiquaient : les unes la hauteur et l'azimut du soleil quand son angle horaire était de six heures ; d'autres, sa hauteur quand il était au premier vertical, ce qui donnait le moyen, en

mesurant sa hauteur, de le relever aux instants précités et d'en conclure la déclinaison, alors identique à la variation, et l'heure locale. Mais on cherchait quelquefois aussi la déclinaison en déterminant la direction du méridien par deux hauteurs égales d'une même étoile.

Il est curieux de retrouver un instrument propre à mesurer la hauteur relié à la boussole, beaucoup plus tard, en 1777, chez un autre hydrographe du Havre : de Gaulle. Il présenta alors, en effet, un instrument qui, réunissant l'octant et la boussole, permettait d'observer la variation avec un seul observateur et, prétendait-il, d'avoir en même temps la hauteur à 3 ou 4' près, même sans horizon. La boîte de rose suspendue à la Cardan et lestée par un poids de 15 livres maintenait, pensait-il, la glace supérieure horizontale. Le miroir *m*, jouant le rôle de petit miroir, était fixé à l'intérieur. Le grand miroir M était au-dessus. Il était monté sur un axe solidaire d'une alidade se déplaçant sur un limbe plaqué contre un des côtés de la boîte. La boîte extérieure, dans laquelle l'appareil était suspendu, reposait sur un double fond par l'intermédiaire de roulettes, ce qui permettait d'orienter le tout facilement. Tout cela, cet octant en plusieurs morceaux surtout, était étrangement compliqué et peu précis.

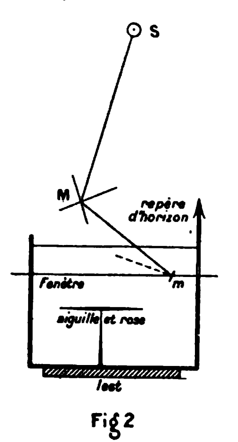


Fig 2

L'Académie de Marine ne restait pas inactive et elle obtenait des résultats. En 1772, elle demanda que les compas soient faits sur les modèles qu'elle proposait. En 1773, elle prit la résolution d'écrire au ministre pour obtenir la direction et la surveillance de la construction des boussoles. Les aiguilles, à ce moment, étaient encore faites hors du port, par un coutelier ; les autres pièces n'importe où. L'autorisation fut accordée et l'atelier de cadrannerie se trouva dès lors installé à Brest, sous le contrôle direct de l'Académie. En 1777, un secrétaire, Marguerie, était chargé de l'atelier.

Ces questions n'intéressaient pas seulement l'estime, toujours nécessaire, ne serait-ce que comme première approximation facilitant les calculs du point exact, et parce qu'on ne peut avoir recours qu'à elle quand les observations sont impossibles. Elles étaient directement reliées à un procédé de la détermination de la longitude, sur lequel, pendant près de deux siècles, on a fondé de sérieuses espérances. La déclinaison ayant, à un instant donné, une valeur déterminée en chaque lieu de la terre, son observation permettrait, pensait-on, de situer le navire sur une des lignes joignant tous les lieux d'égale déclinaison, c'est-à-dire sur un méridien magnétique ; par suite de fixer sa longitude par l'observation simultanée d'une latitude. Ainsi on songea à se servir de la déclinaison et de sa variation dans l'espace qui, cependant, avaient été, au moment de leur découverte, un scandale pour l'esprit car « ces nouveautés avaient révolté les philosophes, dont elles avaient dérangé trop les idées » ; et ils les avaient niées fièrement.

La méthode remontait au-delà de 1600. Courtanvaux l'attribue à un certain Toussaint Bessard, d'Auge, en Normandie, qui l'aurait donnée en 1574. En 1603, Guillaume le Nautonnier, sieur de Castelfranc-sur-Lot, en Languedoc, dédia à Henri IV un énorme ouvrage intitulé *La Mécométrie de l'Eymant, ou l'art de trouver la Longitude par la déclinaison de l'Eymant.* Il y annonce que « l'eymant sert à la situation des horloges solaires, à représenter le plan des villes et des forteresses, décrire le royaume, conduire les aqueducs sous terre, creuser les mines de guerre et celle des métaux, braquer les pièces d'artillerie et frapper de nuit très obscure. Mais, entre tous, reluit comme un soleil au milieu des autres flambeaux célestes, de montrer le chemin qu'on a à tenir au milieu de la mer ». Comme il avait peu d'observations à utiliser, il trouva naturel et simple de construire *a priori* la carte de la distribution du magnétisme à la surface de la terre. La nature devait évidemment se conformer à la raison humaine, qui était, chez le Nautonnier, une raison élémentaire confondant simplicité avec ordre et loi. Ainsi, pour Castelfranc, les méridiens magnétiques sont aussi réguliers que les méridiens terrestres et, pour les figurer, il

suffit de déplacer l'axe des pôles de manière que l'équateur de l'eymant qui, dit-il, est un « grand cercle régulier divisant la terre en deux parties égales », passe par la latitude de 23° nord, au premier méridien, fixé du reste aux Açores, afin qu'il soit déterminé par un principe naturel, car la déclinaison y était nulle. C'est sur cette théorie qu'il établit 200 grandes pages de tables donnant les déclinaisons en tous les lieux de la terre. Il les construit en réduisant le problème à une pure question de géométrie, convaincu que la variation de la déclinaison sur le réseau des méridiens et parallèles magnétiques était uniforme et que, de part et d'autre du méridien origine, elle variait graduellement de 0 à 90°. Il eût mieux employé son temps à faire des mesures. Il proposait aussi d'employer l'inclinaison et, entre temps, il imaginait de lier un quart de cercle à une boîte de la boussole, comme le fit plus tard Bouguer. On conçoit que le sieur de Castelfranc ne fut pas difficile à réfuter. Il suffisait de quelques observations. C'est ce que fit avec violence, en 1611, Dounod, de Bar-le-Duc, qui malmena durement le Nautonnier « à qui le silence des gens doctes avait fait espérer l'immortalité pour son livre qu'il se préparait à tourner en latin, afin de lui donner une plus grande étendue ». Ajoutons que la variation de la déclinaison avec le temps ne fut connue que dix ou vingt ans après.

A la fin du xviie siècle, la question fut reprise par Halley sur une vaste échelle expérimentale. Cet astronome avait fait beaucoup d'observations magnétiques au cours de voyages dans l'Atlantique, entrepris dans ce but de 1698 à 1702. En 1700, il était passé à Madère, aux Canaries et aux îles du Cap Vert ; à Rio de Janeiro, d'où il était descendu jusque vers le parallèle de 53° sud avant de remonter à Tristan d'Acunha ; puis à Sainte-Hélène, à la Trinité, au cap Saint-Roch, aux petites Antilles, enfin aux Bermudes et à Terre-Neuve. A la suite de cette circumnavigation, il publia une carte sur laquelle étaient tracés les méridiens magnétiques pour l'année 1700. On y voit une ligne sans déclinaison, « courbe assez irrégulière » qui, d'abord dirigée à peu près suivant un méridien terrestre dans les parages de

l'île Bouvet, s'infléchit fortement dans le nord de l'équateur, passe aux Bermudes et atteint l'Amérique un peu au nord de Charleston. Il avait remarqué, et on parut attacher une grande importance à ce fait que, d'un côté à l'autre de cette ligne, la déclinaison changeait de sens. Peut-être ne s'avancerait-on pas beaucoup (c'est une impression que nous avons eue en lisant les mémoires de l'époque) en disant qu'on pensa alors être au seuil d'une grande découverte : celle de la *loi* de la distribution du magnétisme terrestre. La loi de la gravitation, qui venait d'être révélée, pouvait contribuer à entretenir ces illusions. Et après tout, la détermination de la longitude par les observations de la lune n'était guère plus avancée, en 1700, que la mécométrie de l'aimant. Même, celle-ci était susceptible, en certaines régions, de plus de précision que celle-là ; puisque Halley avait trouvé que, parfois, la déclinaison variait de 1° pour une distance de 15 lieues ou 45 milles, et puisque, dans les parages de l'Afrique du sud, vers Bourbon ou l'île Bouvet, elle variait de un peu plus de 1° seulement par degré de longitude.

Quand on fait voile du Cap vers l'Ile-de-France, disait Courtanvaux, on se tient par une latitude de 33 à 34° jusqu'au méridien de Rodrigue. Puis, on fait route au nord, et quand on est par la latitude de Rodrigue, la déclinaison apprend si on est à l'est de cette île, ou si on est entre elle et l'Ile-de-France, ou même, ce qui arrive quelquefois, si on est sous le vent de cette dernière et de Bourbon ; et Lemonnier, en 1776, ajoutait qu'il n'était guère possible qu'il y eût des navigateurs bornés au point de nier que la variation de l'aiguille ne pût très bien indiquer la longitude, vers l'île Bouvet, que Cook n'avait pas retrouvée cependant.

Même sur les cartes magnétiques de 1905, on trouve que la déclinaison varie de 1° pour une distance en longitude de 20 milles au sud de l'Australie, par des latitudes de — 60° et des longitudes de 125. Il est vrai que dans le Pacifique, à l'ouest de la Californie, elle reste constante, par une latitude de 25°, sur une distance de 3.250 milles.

A l'une et à l'autre méthode, il fallait deux choses qui leur manquaient également : une théorie permettant la prédiction et un instrument de mesure. Et il n'était pas évident, à l'époque dont nous nous occupons, que c'était par le moyen de la lune que le mystère des longitudes devait être « prouvé ».

Pound et Cunningham avaient observé, en même temps qu'Halley, dans l'Atlantique et l'Océan Indien. Le Père Feuillée, quelques années plus tard, fit également de nombreuses observations du Pérou en Europe. En 1710, Delisle, qui réunit 8 à 10.000 observations de déclinaison remontant à 1534, trouva une seconde ligne où la déclinaison était nulle. Elle était située dans l'Océan Indien et se distinguait de celle de Halley en ce que la déclinaison était de même sens de part et d'autre. Mais il est plus que probable que cette observation se rapportait à une *étroite* lentille enveloppée par la ligne de déclinaison nulle, comme on en voit une de nos jours dans le nord de la Chine. Il pensait que la ligne zéro de Halley, qui coupait les Bermudes en 1700, était la même que celle qui, en 1600, passait par le Cap des Aiguilles, au sud-est du Cap de Bonne-Espérance, observation qui avait fait donner son nom à ce cap célèbre.

Mountain et Dodson, de la Société Royale de Londres, refirent la carte de Halley, pour 1744 et 1756. Bouguer, dans son *Traité de Navigation* de 1753, réunit les deux cartes de 1700 et de 1744, pour permettre de lire graphiquement les déplacements des lignes d'égale déclinaison. On y voit qu'en 1700 la ligne de déclinaison zéro coupait le tropique du Capricorne par 10° environ de longitude est, tandis qu'en 1744 elle le coupait par 0°. A cette vitesse, elle devait effectivement passer par les Aiguilles en 1600. Bellin, en 1764, joignit la carte de Mountain et Dodson à son *Petit Atlas maritime*, en accompagnant toutefois les instructions qui y étaient relatives de la grosse inexactitude consistant à dire que, pour passer des déclinaisons de 1756 à celles de 1765, il suffisait d'ajouter indifféremment 1°,5 aux premières. Lemonnier écrivit, en 1776, à l'usage des marins, un petit livre sur les *Loix du Magnétisme*, où il critiquait l'hypothèse des quatre pôles magnétiques :

deux fixes et deux mobiles, qu'Halley avait formulée, et où on trouve qu'on cherchait alors à séparer les régions terrestres où la déclinaison est NE, de celles où elle est NO, par une ligne unique de déclinaison zéro, traçant sur la surface du globe un contour sinueux et compliqué.

Enfin Buffon, dans le tome V de son *Histoire des Minéraux*, paru en 1788, revenait avec insistance sur la mécométrie. Il y disait à peu près ce qui suit : « L'inclinaison est plus régulière et plus constante que la déclinaison. On peut donc espérer que l'art de la navigation tirera des observations de l'inclinaison autant et plus d'utilité que de tous les moyens astronomiques et mécaniques employés jusqu'à ce jour à la recherche des longitudes. » Il dresse 362 pages de tables de déclinaisons et d'inclinaisons. Et, pour la commodité des navigateurs, il les établit de deux manières : 1° En rangeant les déclinaisons ou inclinaisons par ordre croissant, afin de pouvoir déduire facilement les lieux des observations qui y étaient faites. 2° En rangeant les mêmes quantités selon les latitudes pour permettre de les trouver tout de suite en un lieu connu. Il joignit à ses tables des cartes magnétiques et, pour les unes et les autres, il avait utilisé les observations des voyageurs les plus récents.

L'HEURE LOCALE

La mécométrie de la guideymant, comme disait le Nautonnier, n'utilisait que des accidents terrestres pour la détermination des longitudes. Les méthodes dont nous allons nous occuper maintenant nécessitent toutes la mesure de l'heure locale et il est naturel de commencer par l'exposé des travaux faciles auxquels sa détermination a donné lieu.

Nous avons déjà dit que, dans la navigation par l'estime, on utilisait presque exclusivement l'observation du lever et du coucher du soleil pour en déduire l'heure du bord. On se servait alors des tables insérées dans les traités de pilotage ou des tables des arcs semi-diurnes de la *Connaissance des Temps*. Cela était suffisant comme approximation. Mais, pour avoir la longitude, il fallait une observation plus précise. Le procédé le plus simple consistait à déduire l'angle horaire d'une observation de hauteur, connaissant d'autre part la latitude et la déclinaison de l'astre observé. On était alors ramené à trouver des moyens d'avoir la hauteur. Les instruments à prendre hauteur, que l'on ne songea pas d'abord à construire de manière à les rendre aptes à mesurer aussi avec la précision nécessaire des distances angulaires d'astres et qui ne pouvaient servir que pour trouver la latitude, l'angle horaire et l'azimut, firent le sujet du prix de 1729, décerné à Bouguer. Dans la pièce envoyée, il décrit un quart de cercle suspendu par un anneau fixé à un de ses côtés, de manière que

l'autre côté soit vertical, et il donne aussi, avec de grands détails, un projet d'anneau astronomique monté sur une boîte lestée flottant sur l'eau d'un récipient. Les dimensions sont les suivantes : l'anneau a 17 à 18 pouces (51 à 54 cm.) de diamètre ; les côtés de la boîte qui le soutient ont 24 et 8 pouces (65 et 22 cm.) ; son tirant d'eau est de 2 pouces 1 /3 (6 cm.). Il tenait beaucoup à ce que le centre de gravité du système flottant soit exactement entre la flottaison et le fond du flotteur, voulant ainsi atténuer les mouvements de l'anneau ; et il voulait, en se passant de l'horizon, éviter les erreurs dues aux réfractions horizontales et à la dépression, aux anomalies de laquelle on attribuait alors une valeur très grande. L'astronome anglais Wales faisait en effet monter à 10' les erreurs moyennes sur la dépression pour lesquelles nous comptons aujourd'hui 1 à 2'.

Toutefois Bouguer donnait la préférence, en fin de compte, au quartier anglais de Davis, dont il proposait seulement de simplifier la construction en donnant la même dimension aux deux arcs et en fixant le verre ardent à une des extrémités de l'arc unique, de 55 à 58 centimètres de rayon, les réunissant.

Tout cela n'avait pas grande valeur, mais ce mémoire de Bouguer lui fournit l'occasion d'étudier la réfraction atmosphérique dans l'hypothèse de couches sphériques et de donner une théorie correcte de la « solaire », nom qu'il donne à la courbe décrite par un rayon lumineux arrivant d'un astre à un observateur. Il n'était pas, en réalité, comme il le croyait, le premier à avoir tenu compte de la sphéricité des couches dans cette question ; mais il fut bien le premier à aboutir à des formules pratiquement utilisables.

Le prix de 1745 eut pour sujet « la meilleure manière de trouver l'heure en mer, le jour, au crépuscule et la nuit, surtout quand on ne voit point l'horizon ». Les pièces envoyées étant jugées insuffisantes, le prix fut reproposé pour 1747 et doublé. On le partagea entre Daniel Bernouilli, professeur en médecine à Bâle, qui renvoya, avec un supplément, sa pièce de 1745, et un autre auteur resté anonyme. L'Académie, toutefois, rappelait qu'elle ne

déclarait pas adopter toutes les propositions contenues dans les pièces qu'elle couronnait. Bernouilli (pièce de 1745) propose d'abord de rapporter la hauteur à un fanal placé sur un esquif : idée impraticable qui a pourtant été reprise par Faye il y a une trentaine d'années. Mais voici un appareil plus compliqué. Bernouilli suppose que le bâtiment sur houle oscille comme un pendule simple autour d'un axe A. Soit alors B (fig. 3) un point du navire ; le mouvement de B est un mouvement pendulaire. En B, mettons trois pendules 1, 2, 3 d'inégales longueurs. Ces pendules vont osciller et il admet que la détermination simultanée des angles $\widehat{1B2}$ et $\widehat{2B3}$ permettra de trouver l'angle $\widehat{2BV}$ de l'un des pendules avec la verticale vraie BV. Dès lors, supposons un demi-cercle gradué, fixé à AB et une lunette LL tournant autour de B et appliquée contre le secteur. On peut, dit Bernouilli, imaginer un mécanisme quelconque qui immobilise à la fois les pendules et la lunette sur le limbe au moment où on vise un astre — quoi de plus simple, en effet ? — et on en conclura la hauteur.

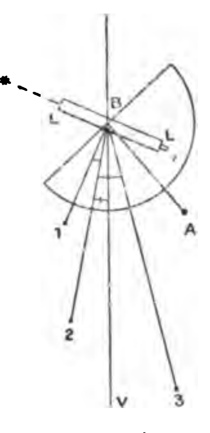


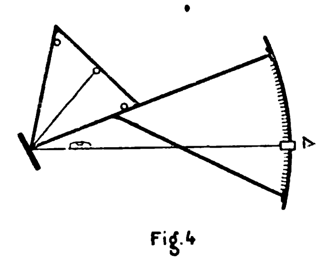
Fig. 3

Mais, même en admettant que le problème soit déterminé et possible, dans les conditions où le pose Daniel Bernouilli, sa solution ne serait d'aucune utilité à la mer, parce que le bâtiment en roulis sur houle est très éloigné d'avoir un mouvement conforme à celui qui lui est attribué par les hypothèses faites. Il faudrait tenir compte, dans ce cas, du mouvement circulaire de translation, totalement négligé par l'auteur. Et enfin, si le bâtiment oscillait autour d'un axe fixe A, il suffirait, pour avoir la verticale, de suspendre un pendule en un point de cet axe. Voilà pour la première pièce. Celle de 1747 ne contient que des exercices de trigonométrie sphérique où Bernouilli montre qu'on peut calculer l'angle horaire local si on se donne deux hauteurs d'un même astre et l'intervalle de temps qui les sépare ; deux hauteurs de deux astres, simultanées ou non ; la latitude et le moment où deux astres sont

dans le même vertical ; problèmes qu'il est aisé de résoudre, mais qui ne sont pas pratiques. Quant à l'observation de deux astres dans le même vertical, on pourrait la faire, dit-il, au moyen d'un fil à plomb, moyen si imparfait que Bouguer déclarait qu'il en résulterait une erreur de 15 à 20 minutes sur l'heure conclue.

L'autre pièce envoyée au concours varie ces exercices en déduisant l'angle horaire de la connaissance de l'azimut, de la déclinaison et de la hauteur ou de la latitude ; ou encore de la latitude des déclinaisons et des ascensions droites de deux astres et du temps écoulé entre leurs passages par la même hauteur, ce qu'on exprimait alors en disant au même almicantarat, un almicantarat étant un petit cercle dont le centre est au zénith. Mais tout cela n'était pas marin. Enfin, on trouve d'autres projets aussi peu satisfaisants, comme celui qui consistait à monter une astrolabe sur une suspension à la cardan, afin de la rendre insensible aux mouvements du navire ; et cet autre, dans lequel on imaginait d'articuler un secteur immense au sommet d'un mât ajouté au navire à cet effet.

Nous devons au jésuite Pèzenas, professeur d'hydrographie de 1728 à 1749, et directeur de l'observatoire de Marseille, un grand nombre d'articles et d'ouvrages sur la longitude. Des études qu'il a publiées dans les *Mémoires de Mathématiques*, rédigés à l'observatoire de Marseille en 1755, contiennent la description d'instruments destinés à mesurer la hauteur ou à calculer l'angle horaire. Vers 1730, Elton construisit un quartier à niveaux dérivé du quartier de Davis. Il s'en distinguait (fig. 4) en ce que la pinnule oculaire était montée sur une alidade portant un niveau à bulle d'air permettant d'observer sans horizon. L'écu portait un second niveau destiné à mettre l'instrument vertical et il y en avait encore un troisième sur le bras solidaire du verre ardent, avec lequel on pouvait mettre ce bras horizontal, afin d'observer par devant


Fig. 4

en regardant l'astre le long de l'alidade. Le verre ardent n'occupait d'ailleurs que trois positions, aux extrémités et au milieu de la petite traverse. Deux capitaines anglais nous ont laissé leur opinion sur cet instrument. En 1730, l'un d'eux, le capitaine Walter Hoxton, du *Baltimore*, allant de la Tamise en Amérique du Nord, compare ses résultats à ceux qu'il obtient avec le quartier de Davis et il trouve qu'avec des vents forts et de grosses vagues, la différence va à 5 ou 6' ordinairement, mais quelquefois elle atteint 16' ; une fois 21'. Le second déclare simplement qu'il a pu observer avec le quartier d'Elton, par « des vents piquants et brume épaisse ».

L'idée d'employer un niveau pour se passer de l'horizon avait déjà été réalisée quelques années auparavant par Radouay, qui avait imaginé de construire un cadre carré (fig. 5) portant deux arcs gradués, décrits du centre du carré et s'appuyant sur deux côtés opposés. Sur ces arcs se déplaçaient des pinnules qui n'étaient même pas liées à une alidade et qu'il fallait placer symétriquement par rapport au centre de l'instrument. Le niveau s'ajustait à un des côtés situés entre les limbes, pour les hauteurs plus petites que 45° ; à un des côtés soutenant un arc pour les hauteurs plus grandes que 45°. Halley enfin, toujours dans le même but de se passer de l'horizon, montait un quart de cercle sur un axe vertical fixé au navire. Pour mesurer l'inclinaison de l'axe au moment où on prenait la hauteur, il adaptait un niveau d'eau au bas du quartier. Ce niveau (fig. 6) était constitué par un tube sans fin formé en haut et en bas de deux arcs concentriques. Le liquide ne remplissait pas l'arc inférieur qui était gradué. Il se déplaçait dans ce tube avec les mouvements du navire ; mais un robinet R, fermé au moment où on effectuait une visée, permettait d'arrêter le liquide dans la position qu'il avait à cet instant, et, par suite, d'avoir l'inclinaison de l'instrument. On voit qu'on se donnait

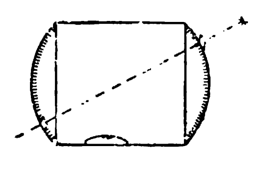


Fig. 5

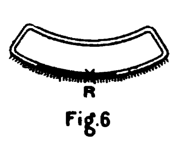
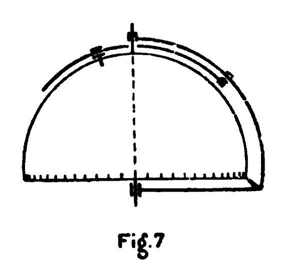


Fig. 6

beaucoup de mal pour n'aboutir qu'à des résultats médiocres. Ces niveaux ne pouvaient que courir après leur position d'équilibre sans cesse variable, parce qu'elle dépendait à chaque instant de la verticale apparente et non de la verticale vraie.

En 1751, l'un de ces inventeurs, l'anglais Serson, fut mieux inspiré en pensant à utiliser le mouvement gyroscopique d'une toupie en rotation rapide, pour conserver à bord la direction de la verticale. Bouguer décrit son instrument en 1753. C'était une toupie au-dessus de laquelle était fixé un miroir horizontal. Elle était de métal, avait 3 pouces (8 cm.) de diamètre et était très plate, ayant la forme du couvercle d'une boîte cylindrique. « Sous le miroir, dit Bouguer, il y a un petit creux en agate qui reçoit l'extrémité d'une pointe d'acier. » L'artiste voulait faire tourner le gyroscope autour de son centre de gravité. Pour le lancer, on le fixait au moyen du pivot et d'une barre de bois contre laquelle s'appuyait son axe et qui était liée à la partie supérieure de la boîte contenant l'appareil. Le mouvement de rotation était donné par un ruban enroulé autour de l'axe. Les difficultés étaient de faire la machine et de faire le lancement, l'axe étant vertical. C'était toutefois le germe d'une heureuse idée, puisque c'est en mettant le point de suspension au-dessus du centre de gravité, que l'amiral Fleuriais a réalisé récemment un précieux appareil, donnant, à un très petit nombre de minutes près, la direction de l'horizon, par une mer moyennement agitée au moins (1).


Fig. 7

Les méthodes de calcul de l'angle horaire par l'observation de la hauteur, ont aussi exercé les facultés des artistes et savants. Graham avait construit une machine pour déterminer la latitude et l'angle horaire par deux observations de hauteur, connaissant le temps écoulé entre les observations. C'était (fig. 7) une calotte

(1) Short, dans les *Philosophical Transactions* de 1751-52, dit que l'instrument de Serson a été perdu à bord du *Victory*. Il dit aussi que la toupie tournait 35 minutes dans l'air et 2 heures 16 minutes dans le vide.

sphérique d'un peu plus d'une demi-sphère portant un arc concentrique qui pivotait autour d'un axe radial. Un second arc gradué tournait autour d'un curseur qui glissait sur le premier arc et il portait un style mobile avec lequel on pouvait tracer un trait sur la calotte sphérique. Cette machine permettait de figurer la sphère locale, ainsi qu'on le voit aisément (fig. 8). Le premier arc pouvait en effet se placer successivement suivant PA et PB et le deuxième permettait alors de décrire les circonférences des centres A et B et des rayons AZ et BZ.

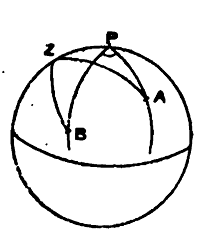


Fig.8

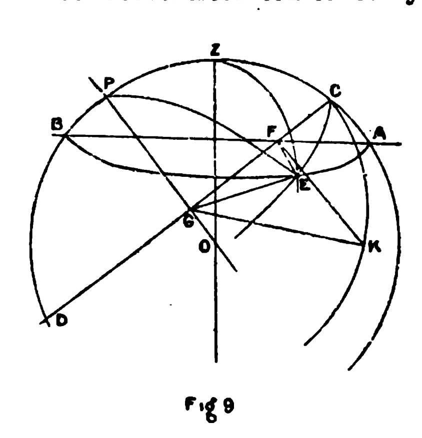


Fig 9

Pendant presque tout le siècle, les méthodes graphiques furent très en honneur. On les croyait plus que les calculs à la portée du commun des navigateurs et suffisamment précises. Lalande, dans son *Abrégé de Navigation* de 1793 les rappelle. Voici d'abord la méthode qu'on employait d'ordinaire. Dans le triangle ZPE (fig. 9), on connaît les trois côtés, et il faut trouver l'angle en P. Traçons le petit cercle CED, de centre P. L'angle en P est égal à l'angle FGE. Soit AEB le petit cercle de centre Z. AB et CD déterminent le point F. Rabattons CED autour de CD ; FE se rabat en FK perpendiculaire à CD et FGK est l'angle cherché. La Caille imagina la construction suivante : (fig. 10) FI étant parallèle à OP, dans la circonférence OPZ, OI est le cosinus de l'angle horaire. En effet, FG est ce cosinus dans

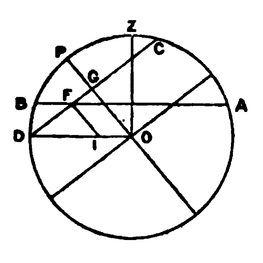


Fig.10

la circonférence DC et $\frac{FG}{OI} = \frac{DG}{OD}$; donc OI est aussi le sinus du

complément de l'angle horaire, et, par suite 2OI est la corde du double de ce complément. Si donc on mesure sur la circonférence extérieure l'arc qui sous-tend, de part et d'autre de son milieu, deux cordes égales à 2OI, cet arc sera égal à quatre fois le complément de l'angle cherché. De telles méthodes étaient évidemment applicables au calcul de l'azimut.

Pour éviter l'emploi des tables de logarithmes, on utilisait les échelles logarithmiques de Gunter, sur lesquelles étaient tracés les logarithmes des nombres, des sinus et des tangentes. On en trouva communément, gravées sur buis ou ivoire, dès l'invention des logarithmes par Napier, en 1614. En 1765, un sieur Baradelle les grava sur cuivre « avec des soins qu'on ne peut attendre que des artistes qui savent porter la précision et la finesse des divisions à un point qu'il serait difficile d'exprimer. » La règle de Baradelle avait deux pieds (64 cm.) de longueur.

Il valait mieux construire des tables. C'est ce que fit Cassini, qui calcula 24 pages de tables, insérées dans sa relation du voyage de l'*Enjouée*. Les hauteurs y variaient de 5 en 5° ; les latitudes, de degré en degré, de 34 à 51° et les déclinaisons, de degré en degré également entre ± 23° 29'. Il n'y donne pas de parties proportionnelles et il fallait attendre que la hauteur ait atteint une des valeurs de la table pour pouvoir s'en servir. Lalande, à la fin du siècle, fit beaucoup mieux. Dans ses tables, la déclinaison varie de degré en degré, de — 24° à + 24°. La latitude va de 2° en 2° jusqu'à 40° ; puis de degré en degré jusqu'à 60. Les hauteurs sont comprises entre 0 et 48° à l'équateur, entre 0 et 30° à la latitude de 60°. Il y a des parties proportionnelles pour les variations de la déclinaison, de la hauteur et de la latitude. Elles furent calculées en grande partie par sa nièce, Madame Lefrançais, aussi habile à manier l'aiguille que prompte à aider son oncle dans ses calculs. Citons enfin les graphiques par lesquels Margetts figura de semblables tables. Ils donnaient très simplement l'angle horaire en ne nécessitant que l'usage d'un compas.

Pour terminer, ajoutons que la méthode des hauteurs correspondantes *à la mer* était également signalée. Bouguer, qui l'a

employée en allant en Amérique, en parle dans son *Traité de Navigation* et la *Connaissance des Temps* donnait, depuis le début du siècle, une table des corrections nécessaires par suite de la variation de la déclinaison du soleil.

LES ÉCLIPSES
DES SATELLITES DE JUPITER

Le moyen le plus simple d'avoir le second élément du problème, c'est-à-dire le temps du premier méridien, consistait à se servir des éclipses des satellites de Jupiter. En effet, une fois en possession de tables de prédiction, l'observation brutale d'une immersion ou émersion donne immédiatement l'heure de Paris cherchée. La méthode était séduisante par sa simplicité même. A partir de 1690, la *Connaissance des Temps* donna les instants des éclipses du premier satellite, calculés d'après les tables de Cassini ; et quarante ans plus tard, dès 1730, elle y ajoutait les éphémérides des trois autres petites lunes de Jupiter, connues à cette époque.

Ils furent très observés. Wargentin, né en 1717, secrétaire perpétuel de l'Académie de Stockholm, fut l'astronome qui en fit le plus d'observations. Il s'y consacra presque entièrement. Il retrouva de lui-même, et en comprit l'importance pratique, la période de 437 jours qui ramène dans le même ordre les principales inégalités des trois premiers satellites. Bradley, en 1726, en avait eu l'idée, mais il ne s'en était pas servi. Les premières tables de Wargentin sont de 1741. En 1759, il les refondit et les envoya à Lalande. Les erreurs, pour le premier satellite, n'allaient en général qu'à 1 minute, tandis que les tables de Pound, oncle de Bradley, pouvaient s'écarter de l'observation de plus de 6 minutes. Il redonna des tables, toujours presque totalement empiriques, en 1771, 1776 et 1779. Dans ce genre, qu'il avait fait sien, dit Delambre, il s'acquit une grande réputation.

En 1766, l'Académie avait proposé pour sujet de prix « Les inégalités des satellites de Jupiter, produites par leurs attractions mutuelles ». Lagrange, qui utilisa les données de Wargentin, reçut la récompense. Les tables du premier satellite étaient alors quelquefois en erreur de 2 minutes.

La méthode avait un grave inconvénient, sur lequel Verdun, Borda et Pingré insistent dans la relation de leur voyage de 1771-1772. Il y avait des périodes de trois mois pendant lesquelles on ne pouvait observer une seule éclipse du premier satellite, le plus propre à ces sortes d'observations, parce que c'est celui pour lequel, à cause de sa grande vitesse, l'immersion ou l'émersion sont le plus instantanées, quand Jupiter était trop près du soleil. Vers l'opposition aussi, il fallait compter ne pas pouvoir observer pendant un mois, Jupiter et le satellite étant alors trop rapprochés. Mais la grosse difficulté, non résolue encore, était dans l'observation. Il est pratiquement impossible, par suite de l'agitation du vaisseau sur mer agitée, de conserver Jupiter et les satellites dans le champ des lunettes assez fortes nécessaires à cette mesure. Et, de plus, l'influence du grossissement, de la qualité de la lunette et de l'état de l'atmosphère est très grande pour la précision, parce que le satellite perd ou recouvre graduellement sa lumière ; le premier, par exemple, mettant $3^m,5$ à entrer dans le cône d'ombre ou à en sortir. Voici une observation typique à cet égard. Le 8 juin 1768, Messier, qui faisait partie du voyage de Courtanvaux, observe, à Dunkerque, une immersion du quatrième satellite, destinée à fixer la longitude de la ville. Au retour, il se procure des correspondantes. Or l'immersion fut observée à Paris, par Maraldi, à $11^h\,20^m\,6^s$, avec une lunette de 15 pieds ; par Cassini à 22^m44^s, avec une lunette de 12 pieds ; par un neveu de Le Paute, à 22^m26^s avec un télescope newtonien de 4 pieds et demi et un grossissement de 60 ; enfin par un élève de Lalande, à 23^m56^s avec un télescope grégorien d'un grossissement de 104. Ces différences, du reste, sont normales.

Il paraît que Galilée imagina pour cette observation un casque muni de deux lunettes, instrument avec lequel il espérait qu'on

arriverait à maintenir la planète dans le champ. Whiston eut une autre idée. Il avait fait construire une lunette de 9 à 10 pieds de long, à un seul oculaire, mais à 7 objectifs. Rochon, l'inventeur du prisme à double réfraction et du micromètre qui portent son nom, admet, dans ses *Opuscules mathématiques*, qu'il faut un grossissement de 40 pour pratiquer la méthode. Or, au commencement du XVIIIe siècle, cela conduisait à l'emploi de lunettes de 15 à 16 pieds, c'est-à-dire de plus de 5 m. 50, tout à fait inutilisables, par conséquent, à la mer. Vers le milieu du siècle, Bouguer, dans son *Traité de Navigation*, recommande la méthode en faisant remarquer qu'une lunette de 9 à 10 pieds était nécessaire, mais qu'un télescope à miroir, de 18 à 20 pouces (49 à 54 cm.), suffirait probablement. Il essaya sans succès de se servir d'une lunette de 9 pieds (3 m.) suspendue à un levier appuyé sur son épaule et muni par derrière d'un contrepoids. Enfin il proposa un télescope attaché à un système de leviers articulés, lesquels devaient être manœuvrés par deux aides qui avaient pour unique rôle de dégrossir le pointage. Mais, vers le même temps, en 1755, les lunettes achromatiques, construites par l'opticien anglais Dollond, firent leur apparition et on vit alors, dit Rochon, grâce à la combinaison de deux espèces différentes de verres, une lunette de 42 pouces (1 m. 13) faire l'office d'une lunette ordinaire de 35 à 40 pieds. Et Rochon, qui s'est beaucoup inquiété des satellites au point de vue de la longitude, fit lui-même construire une lunette achromatique avec chercheur, destinée à l'observation de leurs éclipses. Le chercheur, qui en était la partie originale, était composé d'une lentille de 4 pouces (11 cm.) de diamètre, et de 12 pouces (32 cm.) de foyer. A ce foyer était un verre dépoli de 4 pouces de diamètre également. Il obtenait ainsi un champ très grand, de plus de 20°. Pour rendre l'observation commode, il se servait d'un petit point noir qu'il plaçait sur le verre dépoli, à l'endroit où la planète formait son image quand elle apparaissait au centre du champ de la lunette. L'instrument, enfin, était disposé de manière qu'on pût regarder avec un œil dans la lunette et avec l'autre dans le chercheur.

Il utilisa cet instrument en 1767, sur le vaisseau l'*Union*, de 64 canons, dans un voyage qu'il fit au Maroc, avec une ambassade envoyée au sultan du pays. Le mal de mer lui fit manquer une première éclipse ; mais, le 11 avril, il put observer une émersion du deuxième satellite qui lui donna la longitude, vérifiée par des relèvements de points à terre, avec une erreur de 24'. Il dit que l'astre étant sorti du champ, il le retrouvait toujours en moins de 4 secondes. Mais tel n'était pas l'avis de Chappe, qui éprouva le même instrument dans l'Atlantique, en 1769, et déclara que les satellites lui échappaient toujours ; ni celui de la Coudraye, qui disait que les tentatives de Rochon n'eurent pas de succès par la difficulté qu'il y avait à conserver le satellite dans le champ de la lunette.

Rochon avait imaginé aussi une chaise suspendue, destinée à soustraire l'observateur aux mouvements du navire. Ce n'était pas le premier essai dans ce genre. On eut longtemps une forte tendance, nous en avons eu des exemples, à traiter l'inclinaison du bâtiment en roulis sur houle comme une question de statique et non comme un problème de dynamique extrêmement compliqué, et on admettait alors qu'un objet suspendu devait demeurer vertical. En 1567, le dauphinois Besson, professeur de mathématiques, fut le premier à proposer une table suspendue qui devait, croyait-il, rester horizontale. En 1759, l'anglais Irwin fit éprouver une nouvelle machine de cette espèce, dont le succès fut attesté par Howe. Irwin l'essaya pendant un voyage de six semaines et il pensait qu'elle permettait d'obtenir la longitude par les éclipses des satellites de Jupiter à 3 minutes de temps, soit à 45' près. Montucla décrit cette « chaise d'Irwin ». Une sphère creuse était emboîtée à rotule et à frottement doux dans deux calottes sphériques fixées au navire. La sphère était traversée par une barre de fer qui passait à travers deux larges ouvertures ménagées dans les calottes. Cette barre portait un plancher à sa partie supérieure et elle était maintenue verticale par un gros poids qui lestait son extrémité inférieure. Verdun, Borda et Pingré restèrent sceptiques sur les succès d'Irwin, parce que les essais n'en furent pas

recommencés. Ils avaient ordre, sur la *Flore*, d'éprouver une machine analogue, due encore à un professeur de mathématiques du nom de Fyot. C'était une chaise double, dont l'extérieure était en bois et l'intérieure en fer. Le tout était suspendu à une vergue fixée au grand mât et au mât d'artimon. Ils conclurent de leurs essais « que les mouvements de la chaise étaient moins étendus et plus lents que ceux du vaisseau ; mais qu'ils étaient plus irréguliers et que, quand il y avait peu de mer, on observait plus facilement du pont ». En résumé, ils n'attachèrent pas d'importance à de semblables procédés.

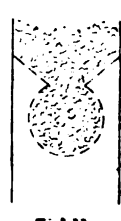
LES HORLOGES MARINES

I. — Sully et Harrison

Les tentatives pour obtenir la longitude par la boussole ou par les satellites de Jupiter ne devaient pas aboutir. Il restait heureusement les montres et le mouvement de la lune, et le succès devait être assuré à la fois par ces deux méthodes. Radouay y fut un précurseur. Ce n'est pas qu'il ait fait grand'chose, mais il fit tout ce qu'on pouvait faire à son époque, et il eut la foi. Quant aux montres, il écrivait en 1727 « il y a longtemps que je pense qu'on peut, par le moyen des montres, éviter les trop grandes erreurs en longitude dans les voyages au long-cours. » Il se servit de ce moyen dans sa campagne de 1722 au Banc de Terre-Neuve. Le hasard le servit bien à ce point de vue, puisqu'il trouva à son bord trois montres qui étaient assez bonnes. Elles appartenaient à des officiers et il fut surtout content de celle d'un « monsieur de Montlouet ». Elle lui permit de corriger son estime de 3° un jour, de 5° dix jours après et elle le fit atterrir à Brest avec une grande exactitude en lui indiquant qu'il en était à 17 lieues, alors que la vraie distance se trouvait effectivement très voisine de cette valeur.

Là encore le prix Rouillé suscita des recherches. Le premier de tous, décerné en 1720, avait pour sujet « la manière la plus parfaite de conserver sur mer l'égalité du mouvement d'une pendule ». Une réponse, due à un horloger hollandais du nom de Massy, fut jugée satisfaisante. Il ne présentait pas de montre, mais seule-

ment des principes pour leur construction. Il proposait par exemple d'égaliser la force motrice par l'emploi de plusieurs grands ressorts agissant ensemble sur le rouage, marchant chacun huit jours et disposés de manière à n'en remonter qu'un seul chaque jour, système ingénieux, mais encombrant, qu'il avait en partie réalisé en construisant un modèle à quatre ressorts avec fusée à chacun. Comme régulateur, il employait le spiral d'Huyghens. Et, s'il n'avait aucun système de compensation contre les variations de la température, il proposait de rendre cette compensation inutile en installant la boîte de la montre à l'intérieur d'une armoire dans laquelle on maintiendrait une température constante par le moyen d'une lampe. Enfin, pour maintenir la montre à peu près verticale, il la suspendait à un genou par l'intermédiaire d'un ressort et la lestait en bas d'un poids lourd. Le travail de Massy ne fit sans doute pas avancer la question, car, en 1725, l'Académie proposa la recherche des moyens de conserver sur mer l'égalité du mouvement des clepsydres ou des sabliers. Daniel Bernouilli, que tous les prix paraissent avoir tenté, imagina de mettre la clepsydre sur une plaque de fer flottant sur du mercure contenu dans un vase sphérique. Quant aux sabliers, il pensa, pour combattre les effets de l'inclinaison, à faire écouler le sable par des trous répartis uniformément à la surface d'une sphère, comme l'indique la figure ci-contre (fig. 11). Alors, quand le navire s'inclinera, l'écoulement du sable ne se fera pas toujours par les mêmes trous, disait-il, mais il se fera toujours par le même nombre de trous. Enfin il forma le projet d'une clepsydre sphérique à mercure. L'appareil était partagé en deux demi-sphères par une cloison construite suivant le plan d'un grand cercle, le trou d'écoulement étant au centre. La pression en ce point ne dépendait pas, croyait-il, de l'inclinaison du navire. Mais ce principe, vrai pour une inclinaison statique, cesse d'être vérifié à bord où non seulement la direction, mais encore la valeur de la pesanteur changent constamment, ce qui condamne tous ces sys-


Fig. 11

tèmes. L'idée de la clepsydre à mercure n'était d'ailleurs pas neuve. Tycho essaya de mesurer le temps par l'écoulement du mercure « purifié et revivifié » qu'il laissait échapper par un petit orifice, en conservant toujours la même hauteur. Mais le « rusé Mercure qui est en possession de se moquer également des astronomes et des chimistes, se rit de ses efforts, et Saturne, non moins trompeur, quoique d'ailleurs ami du travail, ne seconda pas mieux celui qu'il s'était imposé ».

Le même Daniel Bernouilli, dans sa pièce non récompensée de 1745, donnait quelques principes pour la construction d'une montre. Les règles pour obtenir l'isochronisme du spiral n'étaient pas découvertes à cette époque. Le seul moyen auquel il songeait alors pour avoir des oscillations isochrones, était de les faire de très petite étendue, sans doute pour ne créer que des déformations du spiral rigoureusement élastiques. Il pensait réduire en même temps, par là, l'effet des variations de l'effort moteur et conseillait de faire un balancier à très grand moment d'inertie et d'y ajouter des ailettes pour augmenter la résistance de l'air et réduire l'amplitude de ses oscillations.

La même année, fut proposé, par un autre concurrent, un sablier de 30 heures, marquant les heures et les minutes une à une et ne s'arrêtant pas « dans le temps même qu'on le retournait ». L'auteur affirme qu'il a débarrassé le sable de son instrument des petites impuretés susceptibles d'altérer l'écoulement en se mettant en travers du trou.

Nous avons hâte, après ces médiocres projets, d'arriver aux travaux de Sully et de Harrison. Bien que ce dernier ait tout fait en Angleterre, on se préoccupait tellement en France des résultats auxquels il parvenait, qu'il appartient à notre histoire. Sully aussi était anglais. Il était venu s'établir en France, vers 1714, à l'âge de 34 ans. En 1718, il fut nommé directeur d'une manufacture d'horlogerie que le gouvernement français avait établie à Versailles. Il y fit venir soixante ouvriers de Londres ; mais l'entreprise ne réussit pas à durer plus de deux ans. Son horloge marine était construite sur des principes entièrement

originaux. Le régulateur, dont l'idée, d'après Bernouilli, était nouvelle et ingénieuse, était composé de la manière suivante. B est l'axe du balancier, circulaire et vertical. AFF est une fourche solidaire de cet axe et PP_1 un levier horizontal articulé en C et portant, en P, un poids, en P_1 un contre-poids plus léger. La fourche et le levier sont liés par un fil qui s'appuie constamment sur une des branches de la fourche et sur un arc MN faisant partie du levier. Par ce dispositif, Sully pensait d'abord compenser l'horloge pour les variations de la température ; ensuite rendre sa machine insensible aux variations de la pesanteur quand on se déplace en latitude à la surface de la terre. Mais ni la théorie, ni la pratique n'ont confirmé ces points de vue. Les changements de la pesanteur apparente à bord devaient produire de grandes inégalités dans l'action du levier. Quant à l'isochronisme, il pouvait être obtenu en donnant aux branches de la fourche une courbure convenable.

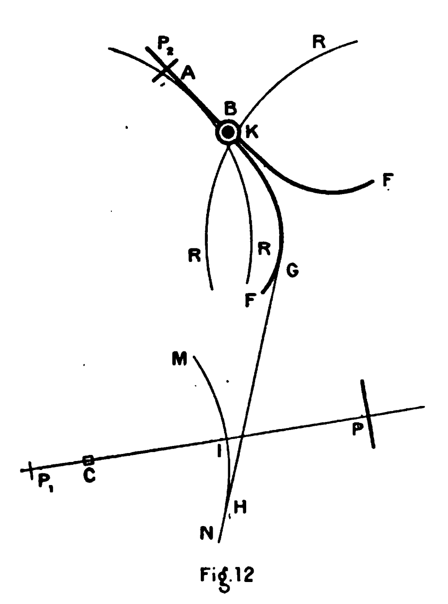


Fig.12

Sully fut plus heureux en trouvant le moyen de diminuer les frottements par une innovation qui devait faire fortune et être largement utilisée par ses successeurs. C'était une découverte importante, puisque, à l'époque de Sully, une montre ordinaire des mieux faites pouvait varier, au bout d'un certain temps, d'une demi-heure en vingt-quatre heures, par suite de l'augmentation des frottements. Pour cela il appuyait l'extrémité de l'axe du balancier sur deux roues RR, RR, de grand diamètre, substituant ainsi un roulement à un glissement. Ce n'est pas que cette invention ne lui fût contestée. Il avait reçu les conseils de Newton

et de Leibnitz et il avait été en correspondance avec J. Bernouilli et Graham, de la Société Royale, célèbre par ses horloges et ses instruments de précision. Bernouilli lui dit qu'il avait déjà vu ses « rouleaux » ; mais, vérification faite, c'était dans une machine destinée à soulever des poids et il aurait pu lui dire aussi bien qu'on employait des roues aux carrosses. Quant à Graham, il lui écrivit qu'il avait vu le même système dans une vieille horloge à pendule. Mais Sully revendiqua à juste titre l'idée de l'application au balancier circulaire, idée qui lui était venue, dit-il, en voyant une grande roue, qui servait à tourner une meule, suspendue à peu près de la même manière.

Il construisit encore une montre à rouleaux et à régulateur spiral à laquelle il avait joint un second spiral, à la roue des palettes qui engrène avec le balancier.

Le 9 janvier 1724 il remit une pendule à Cassini, qui la plaça dans une des tours de l'Observatoire, à côté d'une pendule à secondes. Elle varia de 21 secondes en huit jours. Cette pendule fut aussi essayée en berline. Mais l'artiste voulait faire l'épreuve de ses inventions sur l'eau. A cet effet, deux ans plus tard, en 1728, il se rendit à Bordeaux, port qu'il avait choisi parce qu'il savait qu'il y trouverait « une Académie des Sciences composée de personnes illustres par leur rang, leur qualité et leur zèle pour la perfection des arts ». L'abbé Bignon, conseiller d'Etat et président de l'Académie Royale des Sciences de Paris, écrivit à Sarrau, secrétaire de l'Académie de Bordeaux, pour lui annoncer l'arrivée de Sully, qui désirait faire sur des vaisseaux l'épreuve d'une montre et d'une pendule. Les vaisseaux se réduisirent en fait à une barque de 4 tonneaux et à un petit bateau de 12 tonnes. Un premier essai, auquel assista Montesquieu, alors président de l'Académie de Bordeaux, eut lieu le 15 décembre 1726, en rivière. Un second fut effectué le 17. On alla un peu plus loin que la première fois ; mais le temps devint subitement très mauvais et l'essai ne dura que 7 h. 1/2. La pendule avait varié de $0^s,5$ par heure. A ce taux, sa variation eût été de 1 minute en cinq jours, soit de plus de 8 minutes en six semaines. L'erreur sur la longi-

tude eût été de 2° dans le même temps. Mais on ne peut évidemment rien conclure d'une expérience aussi courte. Les choses en restèrent là, semble-t-il, et Sully mourut deux ans plus tard, sans avoir rien fait de nouveau. Mais il avait formé un élève : Julien Le Roy, qui devint célèbre et qui fut sans doute pour beaucoup dans la renommée de son devancier.

En même temps que Sully travaillait en France, Harrison, fils d'un charpentier de Foulby, dans le Yorkshire, commençait ses études en Angleterre. Cette fois elles devaient aboutir à la solution cherchée. Il fit d'abord des horloges à pendule, dans lesquelles il employait pour les pivots des bois durs non graissés. Dès 1726, il en avait exécuté deux qui étaient si parfaites que leur mouvement respectif ne variait pas de une seconde en un mois (1). Halley, Bradley, Graham estimaient, quelques années après, qu'il méritait les plus grands encouragements. En 1736, il essayait sur mer sa première horloge à longitude. Elle avait deux balanciers liés (c'était une idée de Leibnitz), oscillant dans le même plan, en sens inverse, et le mouvement de chacun d'eux était commandé par deux spiraux *cylindriques* ; toutes ces dispositions étant prises pour éviter les anomalies dues aux mouvements du navire. L'épreuve eut lieu dans un voyage aller et retour à Lisbonne. Elle réussit. Le capitaine du bateau, Roger Wills, attesta qu'au retour la montre lui permit de corriger une erreur de 1°,5 dans l'estime, à l'entrée de la Manche. Sur la réputation que Harrison continua d'acquérir dans le monde savant, les commissaires de la longitude lui firent délivrer, en 1737, une somme d'argent destinée à lui venir en aide. Deux ans plus tard, effectivement, il construisit une deuxième machine qu'il éprouva par la chaleur et le froid et qu'il soumit à de grandes agitations. Et il acheva un troisième ouvrage en 1741. Son activité sembla alors se ralentir, mais c'était en apparence seulement. Toujours est-il que le 30 novembre 1749, Folkes, président de la Société Royale, annonça, dans un discours

(1) Ce qu'il faut peut-être expliquer comme l'observation rapportée page 12.

retentissant, que le prix fondé par Godfrey Copley, pour récompenser chaque année celui qui avait fait la découverte la plus curieuse, était décerné à Harrison. Folkes, en lui remettant la médaille d'or qui constituait le prix, faisait un récit détaillé des longs travaux du lauréat. Il confirmait, en particulier, l'emploi dans la montre du voyage de Lisbonne, de spiraux en forme de ressorts à boudins, placés aux deux extrémités des axes des balanciers. Ceux-ci, par contre, n'étaient pas encore des balanciers circulaires, mais de simples bras lestés aux extrémités. Les balanciers circulaires ne furent employés par Harrison que dans sa troisième montre.

D'après Berthoud, ce n'est pourtant qu'en 1758, neuf ans plus tard, que la quatrième montre fut commencée. Elle était terminée le 3 octobre 1761. Harrison cherchait depuis une quarantaine d'années à la rendre parfaite. Pensant y être parvenu, il écrivit aux Commissaires de la longitude qu'il désirait des essais officiels et demandait que son fils William fît un voyage destiné aux épreuves nécessaires. Le 14 octobre, on lui adressa des instructions à ce sujet. William Harrison reçut l'ordre de se rendre à Portsmouth, pour embarquer sur le *Deptford*, commandé par le capitaine Digges, qui devait, nous le savons, transporter le gouverneur Littleton à la Jamaïque. A Portsmouth, on détermina la marche par des observations de hauteurs correspondantes. Le délégué de l'Académie Royale la fixa à $2^s,66$ et il envoya un compte rendu de ses observations aux lords de l'Amirauté. Le 7 novembre enfin, on mit le « garde-temps » de 3 secondes en retard sur le temps moyen de Greenwich et on l'embarqua. A bord, on l'enferma sous quatre serrures, dont les clefs furent remises l'une entre les mains de William Harrison et une autre entre celles du gouverneur. Une troisième fut confiée au capitaine et la quatrième au premier lieutenant. Le départ eut lieu le 18 novembre 1761. L'astronome Robison était du voyage. Il devait déterminer l'heure à la Jamaïque. On voulut relâcher d'abord à Madère. Le 6 décembre, la montre indiquait une longitude ouest de Portsmouth de 15°19' ; celle des pilotes n'était que de

13°50', soit de 1°,5 à l'est de celle de Harrison. Tous à bord, sauf ce dernier, en concluent hâtivement que l'épreuve est suffisante et que l'instrument n'est pas bon, car on admettait que dans ces parages le bâtiment était toujours entraîné par les courants à l'est et non à l'ouest de son estime. Le 8, la même différence subsiste. Cette fois, les pilotes proposent purement et simplement, si on ne veut pas manquer Madère, de mettre le cap plus à l'ouest, car ils s'en croient toujours à l'est. L'affaire était importante ; le bâtiment n'avait plus de bière et il n'y avait pas de temps à perdre. Le capitaine parie cinq contre un en se rangeant à l'avis des pilotes ; toutefois, sur les instances de William, qui affirme que si l'île Porto Santo, voisine de Madère, est bien portée sur la carte, on doit la voir le lendemain en continuant la route suivie jusque-là, Digges consent à attendre à ce jour suivant avant d'ordonner le changement de route. Bien lui en prit ; le 9, en effet, à 7 heures du matin, on atterrissait exactement. « On découvrit cette île, dit Pèzenas, sur quoi le capitaine et tout l'équipage firent de grands remerciements à M. Harrison ; vu que sans le secours de sa montre, ils seraient allés à l'ouest de Madère dans le temps qu'ils s'en croyaient à l'est et qu'ils auraient manqué cette île, où ils comptaient trouver de la bière. » De sorte qu'on peut croire que, sans ce besoin de rafraîchissement, les félicitations eussent été moins chaudes. Ils arrivèrent à Port-Royal de la Jamaïque, le 19 janvier 1762, 62 jours après leur départ de Portsmouth. La longitude de ce point avait été déterminée le 18 juin 1722 et le 21 octobre 1743, par des éclipses de lune et le 25 octobre 1743 par un passage de Mercure sur le soleil. Elle avait été fixée à 5 heures 16 minutes 23 secondes (la *Connaissance des Temps* donne aujourd'hui 44^s) et la longitude de la montre différa de $5^s,1$ seulement de la longitude astronomique. Comme cette différence s'était réalisée depuis la date du dernier état à Portsmouth, 12 jours avant le départ, jusqu'à celle de l'état mesuré à la Jamaïque, 7 jours après l'arrivée, on voit que la période de la variation en question était de 81 jours. C'était un vrai triomphe. Au lieu de cette précision presque absolue (car 26^s ne font que 6',5) l'estime de quelques-uns

des 43 vaisseaux, dont 20 de 20 canons environ, qui suivaient le *Deptford* — on naviguait de conserve pour éviter les forbans et pour se secourir mutuellement en cas d'avarie ou d'accident — était en erreur de 5°.

Onze jours après l'arrivée à la Jamaïque, Harrison s'embarqua sur le *Merlin* pour effectuer son retour. Ils partirent le 30 janvier 1762. Ils essuyèrent de gros mauvais temps et la montre faillit être inondée. Elle n'était pas suspendue, Harrison ayant recommandé de la fixer solidement, et on dut la déplacer. Dans la journée du 23 mars, on rencontra l'*Essex*, qui avait rectifié sa position la veille au soir en vue de terre. On se trouva d'accord avec lui sur le point des navires. Enfin, le 26, après une traversée de 56 jours, le bâtiment entrait à Portsmouth. On ne put faire d'observations que le 2 avril. Elles firent constater un retard de $1^m54^s,5$ depuis le 6 novembre, en 147 jours. Cela faisait une erreur de 27' en longitude pour la deuxième traversée.

Harrison devait donc se considérer comme ayant réalisé les conditions fixées par l'acte de 1714, et il pouvait espérer recevoir le prix de quarante ans de travaux. Il n'en fut rien et, comme il arrive si souvent, ses misères commencèrent à ce moment où il touchait au but. La méthode par les montres avait des adversaires et des envieux qui lui opposèrent de mauvaises objections. L'un fit remarquer qu'on avait changé de place le quart de cercle qui avait servi à prendre les hauteurs correspondantes à Portsmouth ; un autre prétendit que la longitude de la Jamaïque était mal connue ; un troisième, que la montre n'ayant pas été vérifiée pendant les voyages, il pouvait n'y avoir dans les résultats annoncés que des apparences, car ils pouvaient provenir de compensations d'erreurs. Si, à ce moment, on accorda une récompense à Harrison, ce fut, en tout cas, peu de chose : 2.500 livres au plus. Mais, comme il était sûr du succès, il fut beau joueur et il se prêta avec bonne grâce à une seconde épreuve, décidée par le Bureau, le 17 août 1762. Même, afin qu'on pût suivre la marche de la montre au jour le jour, il proposa lui-même de faire l'essai suivant une méthode proposée par Halley en 1740. Elle consistait à

embarquer la montre à bord d'un navire qui aurait croisé au large de la baie des Dunes, à installer une bonne pendule de Graham dans un des forts de la côte, et à prendre tous les jours des comparaisons avec elle, par signaux. Il offrait aussi, pour compléter les épreuves de l'excellente qualité de son instrument, de faire varier artificiellement la température. Entre temps, d'ailleurs, en 1763, le Parlement lui attribuait 5.000 livres, à valoir sur les 20.000. Le second voyage fut effectué en 1764. Auparavant et pendant huit jours, la montre fut comparée chez l'astronome Short à une pendule astronomique de Graham. Elle avança de $9^s,6$. Harrison fit connaître qu'elle était réglée à la température de 72° Farenheit (22°,2) ; mais qu'elle avançait de 3^s par jour à 42° (5°,5) et retardait de 1^s à 82° (27°,7). On l'embarqua à Spithead sur le *Tartare*, le 28 mars 1764, jour du départ de ce bâtiment pour la Barbade. La traversée dura 43 jours, puisqu'on y arriva le 13 mai. William Harrison en repartit le 4 juin sur la *Nouvelle-Elisabeth* et il fut de retour à Londres le 18 juillet, 44 jours après. La montre retardait seulement de 15^s en tenant compte de la table des températures ; de 54^s si on négligeait les corrections qu'elle donnait ; et il y avait 156 jours que la dernière comparaison avait été prise. Elle avait par conséquent donné la longitude pendant ce long intervalle, à 3'45" près. A la vérité, les commissaires, après avoir examiné en détail les procès-verbaux de l'épreuve, n'admirent pas une exactitude aussi remarquable. Toutefois, le 9 février 1765, le Bureau déclara, à l'unanimité, que Harrison avait réussi pleinement et largement à réaliser les conditions de l'acte de la reine Anne, puisque la montre avait donné la longitude bien en deça des limites prescrites. Cependant la récompense fut portée à 10.000 livres seulement ; parce qu'il ne parut pas au Bureau que la totalité des 20.000 livres pût être délivrée tant que Harrison n'aurait pas fait connaître le mécanisme de sa machine. Les commissaires considéraient en effet, et la chose est assez raisonnable, que l'esprit de l'acte de 1714 exigeait un moyen général, capable d'être utilisé par tous les navires. Et pour savoir si l'instrument de Harrison répondait bien à cette

interprétation, il était nécessaire de s'assurer que sa montre pouvait être reproduite parfaitement par un artiste ordinaire.

Les explications exigées furent données en présence des commissaires et de mathématiciens et d'horlogers nommés à cet effet. Il en résulta une brochure que Pèzenas fit connaître en France. Malheureusement Harrison, habile artiste, n'avait aucun talent d'exposition. Ses descriptions et ses dessins n'apprennent rien. Ceux-ci surtout, que nous avons essayé de déchiffrer, sont illisibles. Berthoud lui-même a déclaré que si on a eu l'intention de faire connaître l'instrument en apparence seulement, mais avec le désir secret d'en empêcher la reproduction, on n'aurait pu faire mieux autrement. Cette montre n'avait pas de rouleaux et son échappement n'était que l'ancien échappement à roue de rencontre, car c'était seulement une montre ordinaire dont la justesse était due à la perfection de la main-d'œuvre. Lalande, qui écrivait, dans la *Connaissance des Temps* de 1765, « il est juste que Harrison jouisse en France de la gloire dont on le juge digne dans sa patrie », nous apprend qu'elle avait 4 à 5 pouces (11 à 13 cm. 5) de diamètre, comme les montres de carrosse. Le moteur était un ressort, le balancier, trois fois plus lourd que celui des montres communes, et d'un diamètre triple, avait 2,2 pouces (6 cm.) de diamètre. Il parcourait 24 pouces (65 cm.) en 1^s. Son mouvement était donc très rapide. Comme régulateur, Harrison avait adopté un spiral plat et la compensation pour la température était obtenue par un thermomètre métallique bi-lame, de cuivre et d'acier, qui, en se courbant, raccourcissait ou allongeait le spiral. Les grands arcs étaient plus rapides que les petits.

Après le second voyage, elle fut remise, le 26 avril 1766, à Maskelyne, directeur de l'observatoire de Greenwich. Il l'étudia comme quelqu'un qui voulait la condamner, quoique cette opinion ne s'accorde pas avec ce qu'on connaît par ailleurs de son caractère sympathique et généreux. Il la suivit jour par jour du 6 mai 1766 au 4 mars 1767. Il annonça alors que la montre variait beaucoup et qu'il ne lui paraissait pas qu'il y eût une liaison régulière entre ses variations et celles du thermomètre. Voici ses

conclusions. Les probabilités pour ou contre une erreur sur la longitude de 30' en six semaines sont égales. La probabilité d'une erreur plus petite que 40' dans le même temps est égale à 3/4. Autrement dit, elle assurera la longitude à 1° près en six semaines; mais à 0°,5 près en quinze jours seulement ; encore faut-il admettre que le froid n'arrive jamais au terme de la glace. C'était sévère, bien qu'il ajoutât que néanmoins l'invention était bonne et qu'elle serait très avantageuse à la navigation, en la joignant aux distances lunaires, méthode à laquelle, précisément à cette même date, Maskelyne venait de faire faire un progrès très important.

Mais il était heureusement réservé à Harrison de voir son triomphe pleinement constaté. Le Bureau des Longitudes ordonna en effet, à l'horloger Kendall, de construire une montre identique, et elle fut confiée en 1772, à Cook qui partait, sur la *Résolution*, pour son second voyage. Elle lui rendit d'immenses services, si bien qu'à son retour, toutefois après beaucoup de débats et d'oppositions encore, on versa enfin la totalité des 20.000 livres entre les mains du célèbre et tenace artiste. Il mourut l'année suivante, en 1776. Quelques-uns continuaient d'ailleurs à mal juger son ouvrage. En effet, Le Roy dit qu'en 1774 on lui écrivit de Londres que la montre de Harrison était si peu regardée en Angleterre comme capable de remplir les espérances qu'on en attendait, qu'on s'y préparait à voir le Parlement proposer un nouveau prix pour les longitudes. Et il y avait une part de vérité dans cette opinion. Harrison, il est bien vrai, avait accompli un tour de force ; mais sa construction trop compliquée ne pouvait pas et ne devait pas servir de modèle pour les montres futures. Elle était destinée à rester en dehors, en quelque sorte, du cours normal des efforts de l'horlogerie vers le mieux ; type achevé d'une forme dont il n'exista jamais que deux exemplaires ; car c'était une machine d'exception qui ne pouvait être susceptible de développement, ni même d'imitation courante.

II. — Pierre Le Roy et Ferdinand Berthoud

En France, les horlogers travaillaient aussi. Julien Le Roy, le collaborateur de Sully, avait donné un grand essor à l'horlogerie de notre pays. « On lui est surtout redevable, dit Berthoud, de la perfection que la main-d'œuvre acquit de son temps. » Il mourut en 1759, laissant en Pierre Le Roy un fils doué d'un tempérament d'artiste, qui devait se donner tout entier à la construction d'une montre à longitude, et dont les recherches firent franchir des pas décisifs à l'horlogerie de précision. Ce n'est pas qu'il ait beaucoup écrit ni beaucoup construit. Il n'a vraiment livré que deux horloges à l'étude des marins et des astronomes ; mais les principes de leur construction étaient simples, clairs et si justes, qu'ils ont été adoptés après lui, malgré de profondes modifications dans leur réalisation.

Le prix de 1767 avait pour sujet « la meilleure manière de mesurer le temps en mer ». Louis XV « y avait applaudi et avait promis ses faveurs aux méthodes qui seraient proposées ». Le Roy, à cette occasion, remit à l'Académie sa montre n° 1, désignée plus tard par A (ancienne), le 5 août 1766. La deuxième, appelée n° 2 ou S (seconde), fut d'ailleurs identique. La description de l'instrument était donnée dans un mémoire déposé le 5 septembre, que l'on trouve imprimé à la suite de la relation du voyage de Cassini de 1768, fait spécialement pour éprouver les horloges de Le Roy. On peut voir l'une d'elles, en bon état encore, au Musée du Conservatoire des Arts et Métiers. Le moteur est un ressort et il n'y a pas de fusée, d'où il résulte que les arcs décrits vont de 100° à 90°. Le balancier est une roue continue de 4 pouces (10 cm. 8) de diamètre. Il est horizontal et monté au haut d'un

axe allongé vers le bas. Ce balancier, dont les oscillations trop peu étendues et trop lentes étaient trop sensibles aux perturbations, n'oscille pas entre des pivots. On ne savait pas, à cette époque, en France, travailler les pierres précieuses pour l'horlogerie. Cet art, né en Suisse, était passé en Angleterre et on en avait fait un secret. D'ailleurs, ce balancier était lourd. Il pesait 5 onces (160 gr.) et, avec l'emploi de pivots, leur usure rapide était à craindre, ou tout au moins l'augmentation des frottements. Le Roy résolut le problème en suspendant le balancier par son extrémité supérieure à un fil de clavecin très fin, de 3 pouces (8 cm.) de long. Il s'était arrêté à cette nature de fil après de longues études. Par sa simple torsion, il faisait faire au balancier des vibrations de 20 secondes. Mais, en réalité, ces vibrations ne se font qu'en $0^s,5$, grâce à l'emploi de deux ressorts spiraux plats « semblables aux grands ressorts des montres » et situés à la base de l'axe du balancier. Il en mit deux pour éviter les pressions latérales et pour avoir une machine moins sensible aux secousses. Ils étaient parfaitement isochrones. Le Roy était parvenu à leur donner la propriété d'accomplir les grandes vibrations dans le même temps que les petites, après vingt ans d'expériences, dans lesquelles, en faisant varier la force motrice, il faisait osciller des spiraux douze heures à de grands arcs, puis douze heures à de petits arcs. Il avait ainsi découvert la règle de l'isochronisme qu'il énonçait : « il y a dans tout spiral une certaine longueur pour laquelle les grandes vibrations se font dans le même temps que les petites. Si vous raccourcissez le ressort, les grandes vibrations sont plus promptes que les petites ; si vous l'allongez, c'est le contraire qui a lieu » ; et il affirmait qu'il parvenait par ce moyen à réaliser l'isochronisme à un tel point, qu'entre les durées de 100.000 vibrations de 100° et de 30°, on ne percevait aucune différence. Enfin l'axe du balancier était guidé par huit rouleaux analogues à ceux de Sully, mais de petites dimensions, et placés par quatre à chacune de ses extrémités.

L'échappement devait permettre au spiral d'accomplir ses vibrations dans une indépendance aussi complète que possible

du rouage, afin de ne pas troubler l'isochronisme ; et Le Roy adapta à sa montre un échappement libre. Déjà, en 1748, il avait présenté un tel échappement, « le premier qui eût paru, dit-il », quoiqu'il ait écrit plus tard, dans ses *Etrennes chronométriques*, qu'il avait vu chez Dutertre un échappement construit sur les mêmes principes. Mais celui de Dutertre resta sans doute une pièce d'atelier. L'Académie, ayant pris connaissance de celui de Le Roy, avait déclaré que « l'idée lui en paraissait neuve et susceptible de beaucoup d'avantages ». La première application qu'il fit de cette idée fut précisément l'échappement de sa montre de 1776. Nous le représentons sur les figures ci-jointes (1) (fig. 13). La détente AB est pivotée en F. Quand le balancier MN va vers N, l'arc CD, frappant le bras FE dégage le rayon GH du repos A et le rayon HI vient s'appuyer sur le repos B. Au retour, l'arc LR frappe le bras FK et dégage le rayon HI du repos B. Ce rayon vient alors tomber sur le repos A et tout le rouage avance. Le taquet T sert à entretenir le mouvement du balancier.

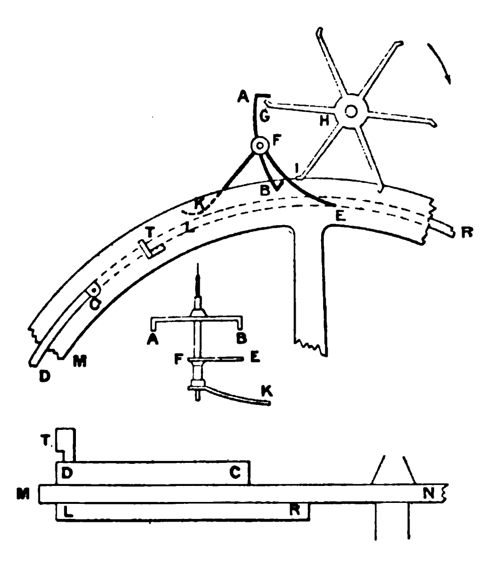
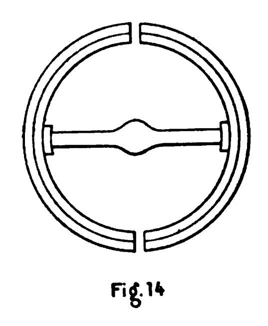


Fig. 13

Il reste à décrire la compensation pour la température. Le Roy s'assura d'abord expérimentalement que la longueur du spiral qui assurait l'isochronisme restait la même quelle que soit la tem-

(1) Il est tout autre que l'échappement de 1748 ainsi qu'on le voit dans Gallon.

pérature. Ses expériences portèrent entre des températures variant de — 5° à + 40° (— 6°,25 à 50°). Dès lors le mécanisme de compensation ne devait pas toucher au spiral et il ne restait, pour effectuer cette compensation, qu'à agir sur le moment d'inertie du balancier. Il avait essayé un balancier formé de deux lames d'acier et de cuivre (fig. 14) rivées l'une à l'autre. le cuivre à l'extérieur, les bi-lames étant sectionnées sur un diamètre perpendiculaire à la barrette, et il avait même pensé à ajouter des masses sur les lames pour augmenter leur effet. Mais il renonça à ce balancier qui ne lui paraissait pas assez solide ; et il employa pour la compensation deux thermomètres placés sous le balancier et dont le tube, coudé trois fois, est maintenu dans un plan passant par son axe (fig. 15). L'instrument a ainsi une hauteur de 2 pouces (5 cm. 4). La boule et la base du tube contiennent de l'alcool qui, en se dilatant, pousse vers l'axe une colonne de mercure, ce qui entraîne une diminution du moment d'inertie du système oscillant, condition nécessaire de la compensation. En résumé, la montre de Le Roy est construite sur le triple principe de l'échappement libre, de l'isochronisme du spiral, pour lequel il a trouvé une méthode exacte et facile à appliquer, et de la compensation par le balancier. Elle était enfin suspendue dans une boîte dont la base avait un pied (0 m. 32) de côté et dont la hauteur était de 9 pouces (24 cm.).


Fig. 14

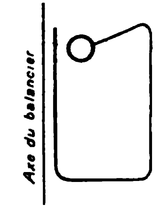


Fig. 15

Ferdinand Berthoud, son contemporain, était né à Neufchâtel, sujet du roi de Prusse. Il vint à Paris, en 1745, à l'âge de 18 ans, et il s'y installa à proximité de Julien Le Roy. Il a incomparablement plus écrit et plus construit que Pierre Le Roy. Tenace et grand travailleur, il paraît avoir beaucoup tenu à occuper une situation officielle, consacrant la gloire qu'il avait acquise, dont il se montrait très jaloux. En 1763, un gros *Essai sur l'Horlogerie*

le fit connaître avantageusement. « C'était, si on l'en croit, le premier ouvrage européen sur la question. » A la suite de ce travail, assurément estimable à l'époque, il fut envoyé à Londres, la même année, pour étudier la montre de Harrison. Lalande raconte, dans la *Connaissance des Temps* de 1765, qu'après le voyage à la Jamaïque le duc de Nivernois, ambassadeur de France à Londres, fut invité à faire venir de Paris des personnes capables d'examiner la découverte de Harrison, « marque d'estime et d'amitié qu'on donnait à la France ». On choisit Camus, Lalande et Berthoud. Mais cette tentative n'eut aucun résultat, Harrison n'ayant rien voulu révéler. Il ne montra rien non plus d'ailleurs en 1766, année où Berthoud retourna à Londres, par ordre de Choiseul, dans le même but. Son succès y fut encore nul malgré les efforts du Ministre de France qui offrit 500 livres sterling à Harrison s'il consentait à livrer son secret. Ce dernier ne consentit à rien « pour une telle bagatelle ».

Quoi qu'il en soit, c'est à la suite de ce second voyage que Choiseul assurait à Berthoud l'entreprise des horloges marines des vaisseaux du roi, « supposant qu'il en pût faire » ajoute malicieusement son rival Pierre Le Roy. C'était un véritable privilège après lequel il reçut immédiatement, le 2 août 1766, l'ordre de construire deux horloges à longitude. Trois jours après Le Roy remettait la sienne.

Berthoud avait déjà donné des preuves de sa volonté de bien faire. En novembre 1763, il avait achevé une montre portative qu'il a désignée par le numéro 3 ; et il avait obtenu, l'année suivante, qu'elle fût essayée. Cette montre devait pouvoir occuper toutes les positions. Elle avait pour moteur un ressort, et son balancier, de 2 pouces (5 cm. 4) de diamètre et du poids de 3,5 gros (14 gr.), n'était dès lors pas suspendu, mais guidé, toutefois, par des rouleaux comme dans l'horloge de Sully. Elle faisait quatre vibrations par seconde. Les arcs parcourus étaient de 180°. En octobre 1764, on l'embarqua à Brest sur l'*Hirondelle*, commandée par Goimpy, « aussi instruit dans l'astronomie que dans la marine », qui était chargé de son examen, concurremment

avec Chappe et Duhamel. Pour en déterminer la marche, ils observèrent, à terre, des hauteurs correspondantes de soleil, et ils firent, les 16 et 20, en rade, deux sorties de vingt-quatre heures. Les résultats obtenus sont contenus dans le tableau ci-joint :

Dates	*Marches*
7 octobre	+ 2s,24
9 —	+ 5s,30
10 —	— 0s,45
16 —	— 4s,31
20 —	— 9s,40
23 —	— 10s,50

Après des résultats aussi médiocres, les études furent arrêtées. Le 14 novembre 1764, Chappe lut son rapport en séance publique. C'est celui que nous connaissons déjà. Il déclara que la montre n'avait pas eu le degré de précision à désirer pour la découverte des longitudes et l'Académie jugea également qu'une épreuve de 13 jours à terre et de 4 jours en rade, en deux sorties, n'était pas suffisante pour asseoir un jugement sur l'instrument. Elle décida donc qu'on attendrait des expériences plus décisives pour donner l'extrait du mémoire de Chappe, qui ne fut jamais imprimé, Berthoud n'ayant plus livré sa montre à des essais officiels.

Mais il n'en était qu'à ses débuts, et il fit beaucoup mieux peu après. Seulement, il nous paraît que dans toute question de priorité relative aux premières réussites des horloges à longitude, on doit écarter, à la date de 1764 au moins, cette montre n° 3, aussi bien qu'on écarte celle de Sully, puisqu'elles se sont montrées très défectueuses. « Ce n'est pas, en effet, de s'être occupé, comme mille autres, de la détermination des longitudes, qu'on peut se faire un titre, dit Le Roy, mais d'être arrivé à cette détermination. »

Il est difficile de donner, en peu de mots, une idée des montres de F. Berthoud, comme nous avons pu le faire pour Le Roy, parce que, non seulement il en a construit ou ébauché un très grand nombre (en 1787 il déclarait avoir construit 45 horloges ou montres à longitude, et le *Supplément du Traité des Montres à Longi-*

tude, paru l'année de sa mort, en 1807, décrit une horloge horizontale numérotée 73), mais encore parce qu'il a beaucoup varié dans les principes de leur construction. On ne peut lui en faire un trop fort grief, car il était assez naturel de tout essayer à une époque où on cherchait la voie la meilleure ; mais il paraît raisonnable de voir quand même, dans ses continuelles alternatives, la marque d'une sorte d'impuissance à concevoir avec netteté les principes justes qui devaient s'imposer à ses successeurs. Le Roy, au contraire, pensait, et il avait raison en *principe*, sauf pour la suspension du balancier, que dans « l'avenir, les montres dont on ferait usage, seraient faites, à très peu près, sur son modèle ». Berthoud, donc, suivant les conditions à réaliser et aussi selon le moment, emploie comme moteur le poids ou le ressort ; adopte le balancier lourd et de grand diamètre, ou petit ; à oscillations rapides ou lentes ; enfin s'arrête à un échappement à cylindre à palettes ou bien à un échappement libre, une même montre recevant quelquefois successivement les deux mécanismes. Enfin, longtemps il ne compense que par le spiral, et quand il se décide à agir sur le balancier, il complète presque toujours la disposition par une compensation supplémentaire réalisée au moyen d'un pince-spiral. Sa tentative la plus curieuse fut peut-être celle que réalisa son horloge n° 5. Le régulateur y était composé d'un pendule et d'un spiral placé sur son axe de rotation. Avec ses spiraux les grandes oscillations étaient plus rapides que les petites. C'était le contraire pour le pendule. Il espérait alors obtenir l'isochronisme par leur combinaison. Les arcs maximum du pendule étaient de 30°.

Nous nous bornerons donc à décrire ici les seules horloges 6 et 8 qui furent l'objet des épreuves officielles dont nous parlerons bientôt. Ces horloges, qu'il livra à l'automne de 1768, furent celles qu'il construisit sur l'ordre de Choiseul. Les détails de leur construction sont donnés dans le *Traité des Horloges marines*, paru en 1773. Le moteur de l'horloge n° 6 est un poids, qui entretient son mouvement pendant 28 heures. Il pèse 6,5 livres. Berthoud préfère le poids au ressort parce que le ressort se « rend » à l'usage

et se casse sans cause apparente et parce que sa force varie avec la température. « Il est prouvé d'autre part, dit-il, que les agitations du vaisseau ne lui causent aucun dérangement. » Le poids est guidé, et, pour l'empêcher de remonter, à la mer, il est retenu par une crémaillère qu'on peut écarter pour le remontage. Le balancier est relativement petit, cette horloge devant être d'un faible volume. C'est une roue fermée de 28 lignes (63 mm.) de diamètre. Il pèse 290 grains (15 gr.) et il est fait en cuivre, l'or étant trop cher et l'acier étant magnétique et sujet à la rouille. Il est horizontal et suspendu, comme dans les montres de Le Roy, mais par un ressort plat, et il est guidé également par des rouleaux ; seulement ceux-ci sont de grandes dimensions. Enfin il décrit des arcs de 130° et fait quatre battements par seconde. Le système régulateur est constitué par un spiral plat, qui fait deux à trois tours. Les règles de Berthoud, pour rendre ce spiral isochrone, n'ont pas la simplicité de celle de Le Roy. L'isochronisme, dit-il, s'obtient par la longueur du spiral, mais pour y parvenir facilement, il faut aussi « que la lame soit plus forte du centre que du dehors » ; qu'elle « aille en diminuant du centre au dehors » ; il y insiste, et pour réaliser cette progression, il faisait sa lame de spiral en fouet, progressivement plus faible à mesure qu'elle s'éloignait du centre, moyen, écrivait, en 1812, son neveu Louis Berthoud, qui était impraticable à tout autre qu'à lui. D'ailleurs, ses spiraux, souvent, n'étaient pas très bons et c'est peut-être le sentiment des difficultés qu'il avait à vaincre dans leur construction qui lui faisait préférer le poids au ressort moteur, celui-là étant moins variable que celui-ci et assurant davantage l'égalité des arcs parcourus par le balancier.

Berthoud dit que l'échappement doit être libre, qu'il a fait un tel échappement en 1754, à repos et à détente, que le balancier y faisait deux vibrations pendant qu'il n'échappait qu'une dent de la roue, et que, quand la roue échappait, elle restituait, « en une vibration au régulateur, le mouvement qu'il avait perdu en deux » ; enfin que l'action du rouage demeurait suspendue par une ancre ou cliquet fixé à un axe portant un levier à pied de

biche. Nous verrons que rien ne prouve que cet échappement ait été réellement construit en 1754. En tout cas Berthoud ne l'employa pas dans son horloge nº 6 « parce qu'il pouvait échapper deux dents au lieu d'une ». Il se servit donc d'un échappement spécial à cylindre, dans lequel le cylindre est relié au balancier par un rateau. Et il le munit de tranches de rubis d'Orient pour diminuer les redoutables frottements qui étaient si grands que lorsqu'il remplaça sur le nº 9 un pareil échappement par un échappement libre, il put ramener le poids moteur de 10 livres à 3,5 livres.

Son système de compensation n'avait non plus rien d'original. Il expérimente que quand la température varie de 27° (33°,7), la marche de l'une de ses horloges, le nº 9, varie de $2^s,3/5$ par *heure*, par suite de l'augmentation du diamètre du balancier ; de 1^s par heure par l'effet de l'allongement du spiral, qui a 40 centimètres de longueur ; enfin que la variation due au changement de l'élasticité de ce dernier, voisine de 13^s par heure, est très prépondérante, « fait d'expérience dont il abandonne l'explication à ces philosophes heureux pour qui la nature n'a rien de caché », ajoute-t-il. (On pensait alors que l'élasticité d'un corps était produite par un fluide emprisonné dans ses pores.) Dans un de ses premiers projets, il a construit des balanciers au moyen de verges droites d'acier et cuivre portant deux lentilles, système qu'il est difficile de rendre symétrique ; mais il aime mieux effectuer la compensation en agissant sur la longueur du spiral ; et, dans son nº 6, il emploie à cet effet une grille composée de 8 tringles d'acier et autant de cuivre, alternées et solidaires deux par deux et destinées, sous un faible encombrement, à produire, par la différence des dilatations des deux métaux, un déplacement notable de l'extrémité libre ; système imaginé par Harrison en 1725 pour ses pendules. L'extrémité libre appuie sur le bout du petit bras d'un levier à deux branches très inégales, dont la grande branche porte deux chevilles entre lesquelles passe le spiral. Tout le mouvement était enfermé dans un tambour cylindrique de cuivre beaucoup plus long que large. L'appareil est

suspendu à la cardan, le point de suspension passant par le milieu du balancier. Sous l'enveloppe, la machine a 36 centimètres de hauteur et 14 cm. 5 de large. Enfin la cardan est supportée par une fourche maintenue dans un pied et un ressort à boudin atténue la transmission des chocs et des vibrations du pied à l'horloge.

L'horloge n° 8 ressemble beaucoup à la précédente. Elle est faite pour la plus grande exactitude possible. Le rouage est plus simple ; le balancier a 55 lignes 7/12 (125 mm.) de diamètre. Il décrit des arcs de 240°. Le spiral est long de 9,5 pouces (26 cm.) et il a une largeur de 1 ligne 1/6 (2 mm. 6). Il fait 7,25 tours et une vibration par seconde. L'échappement est encore à cylindre et la compensation à grille. Elle marche 32 heures. Berthoud a supprimé les crémaillères de retenue du poids, jugées inutiles. Il a toujours considéré cette horloge comme une de ses meilleures. Elle était trois fois plus encombrante que celle de Le Roy, à cause du poids surtout.

Au total, on voit que ces horloges étaient entièrement différentes de celles de Le Roy. Quant au moteur, à l'échappement et à la compensation, elles étaient en quelque sorte leur antithèse.

III. — Les Voyages d'épreuves

Du mois de mai 1767 au mois d'octobre 1772, en cinq ans et demi, il y eut quatre voyages entrepris presque uniquement pour la vérification des montres de Le Roy et Berthoud décrites ci-dessus. En même temps que celle de Le Roy, d'autres montres, de Romilly, de Tavernier, etc., avaient été présentées pour le prix de 1767. Berthoud, n'étant pas prêt, ne concourut pas. Celle de Le Roy « dont les principes étaient exacts, lumineux, suffisants » fixa l'attention. Elle ne se dérangea pas sensiblement à terre. Mais allait-on décerner le prix ? Ne fallait-il pas, avant de se prononcer d'une manière définitive, l'observer à la mer ? Sur ces réflexions, l'Académie se détermina à remettre le prix à 1769, en le doublant, et elle délibéra sur les moyens à prendre pour éprouver cette montre et les autres machines présentées pour la longitude à bord d'un navire. On n'osait demander un bâtiment au Ministre de la Marine, parce que le peu de succès obtenu jusqu'alors avait fait regarder le problème comme très difficile et peut-être impossible, et aussi parce qu'il avait été l'occasion de projets absurdes. N'avait-on pas vu, dit Courtanvaux, Whiston et Ditton proposer très gravement de fixer au large, de 200 en 200 lieues, des vaisseaux qui lanceraient chacun à minuit une bombe explosant à une hauteur de 6440 pieds ? Soudain, toutes les difficultés furent levées. Le marquis de Courtanvaux, capitaine-colonel des Cent-Suisses de la garde ordinaire du Corps du Roi, amateur passionné d'astronomie et membre de l'Académie des Sciences depuis 1764, offrit de se charger de tous les frais de l'expédition. Il proposa un voyage dans la Manche et la mer du Nord avec des relâches nombreuses. Son projet fut accepté par l'Académie qui, sur sa demande,

chargea Pingré de suivre les épreuves et agréa le choix particulier de Messier que Courtanvaux demanda à emmener, à titre d'ami. Sa Majesté, « attentive à ce qui peut contribuer aux progrès des sciences et à ce qui regarde le bien de l'humanité, prit l'expédition sous sa protection ». Courtanvaux voulant un navire approprié et à faible tirant d'eau pour pouvoir aller partout, pria Ozanne l'aîné, d'une célèbre famille d'ingénieurs et de dessinateurs de la marine, de se charger de la construction d'une corvette. Elle fut mise en chantier au Havre et on l'appela l'*Aurore*. Ozanne se surpassa en faisant construire un petit bâtiment de 66 pieds (21 m. 50) de long, très élégant et très manœuvrier, et, en même temps, luxueux et confortable. Il était armé de six canons et avait 24 hommes d'équipage. Le Roy et Ozanne sont du voyage. Ils attendent au Havre Courtanvaux, Pingré et Messier qui quittent Paris le 12 mai 1767. L'expédition était très populaire. A leur arrivée au Havre, ils trouvent toute la ville sur leur passage. Quant au premier contact avec la corvette, il fut charmant « quatre canotiers habillés de ma livrée, dit Courtanvaux, vinrent au-devant de nous dans un canot magnifiquement doré ». A bord ils furent surpris de l'art avec lequel la dorure et les ornements avaient été aménagés, de la délicatesse des peintures et de l'élégance des meubles. Ce fut un très joli voyage. Courtanvaux traita ses hôtes en grand seigneur. Ils visitèrent en détail la Hollande et les environs des ports de relâche. On quitta le Havre le 25 mai, à 7 h. 3/4 du matin, pour Calais, où on arriva le 26, à 11 heures. Ils s'y installèrent à l'hôtel d'Angleterre où ils reçurent la visite d'un grand nombre de personnes, surtout d'ingénieurs, dont quelques-uns les aidèrent dans leurs opérations. Une gazette anglaise y répandit le bruit que leur dessein était de faire de l'espionnage sur les côtes d'Angleterre, de Hollande et d'Allemagne. Le 6 juin, on partit pour Dunkerque. Le but de leur voyage était connu, mais assez vaguement, ainsi que le prouve l'anecdote suivante. Il y avait dans la ville un prêtre qui passait pour un prodige et en avait imposé à la populace. Il prétendait qu'il avait pénétré la vraie méthode de déterminer la longitude à la mer ;

et ils furent obligés de l'écouter. Jusque-là, leur dit-il, « la basse jalousie des officiers de marine l'avait empêché d'être récompensé de ses talents ». Il ajouta enfin, avec beaucoup de confiance, qu'après avoir mûrement réfléchi, il avait reconnu que la méthode la plus sûre pour avoir la longitude en mer était « une montre parfaitement exacte ». On en convint avec lui. La relâche suivante fut Rotterdam, où l'*Aurore* arriva le 21 juin. Courtanvaux y quitta la frégate, pour se rendre par les canaux à Amsterdam, où il devait être rejoint par le petit navire qui continua sa route par le Texel et le Zuyderzée. Il y arriva le 11 juillet seulement, après avoir été retenu pendant plusieurs jours à La Brille, par des vents contraires. Pingré et Le Roy étaient restés à bord. Le retour commença le 21. Sauf Ozanne, les autres voyageurs allèrent par terre d'Amsterdam au Helder, où on essuya un gros coup de vent. Le 6 août, ils sont à Boulogne. Le Roy y ouvrit une de ses montres, à l'évêché, en présence de l'évêque et des membres de la Commission. Ils en repartent enfin le 27 août et sont de nouveau au Havre le 28. Le 30, à la fin des opérations, Le Roy ouvrit les deux montres et en expliqua le mécanisme. On remarqua que les thermomètres n'étaient pas dérangés.

Entre Delft et La Haye, Courtanvaux, Ozanne et Messier avaient aperçu sur le chemin un gros chien qui avait quelque chose de singulier. On leur dit que c'était le produit d'un ours et d'une chienne « ce dont on ne pouvait douter, puisqu'il était né à la suite d'un voyage de long-cours, sur un vaisseau sur lequel il n'y avait autre animal que la chienne et l'ours ». Il ne faudrait pas juger par cette observation de la valeur scientifique du voyage. On y travailla très sérieusement. La présence de Pingré et de Messier suffit à le garantir. Nous retrouverons d'ailleurs Pingré plus d'une fois. Né en 1711, il entra dans les ordres, devint Génovéfain de Senlis, et commença par être professeur de théologie ; mais ayant été persécuté dans les querelles du jansénisme, il dut abandonner sa chaire. C'est à ce moment qu'un ami de Rouen, de l'Académie de cette ville, fit de lui un astronome. Il avait déjà 38 ans. Plus tard, enfin, il devint bibliothécaire de l'abbaye de Sainte-Gene-

viève, au haut de laquelle l'Académie des Sciences lui fit bâtir un petit observatoire.

Pour trouver les corrections et la marche des montres, les astronomes de l'*Aurore* avaient à déterminer ou à vérifier les coordonnées géographiques de leurs relâches. Ils avaient, pour cela, un véritable matériel d'observatoire composé d'une pendule de Berthoud, de deux quarts de cercle de Langlois, de 2,5 pieds (0 m. 81) de rayon, d'un instrument des passages de Canivet, avec lunette achromatique de 3,5 pieds (1 m. 13), de deux autres lunettes de 3 et 5 pieds, la première achromatique, à flint et crown glass ; d'un octant d'Hadley pour prendre des hauteurs en mer, etc... En chaque point où ils stationnent, ils installent un observatoire à terre. Ils en déterminent les latitudes par des hauteurs méridiennes, par 15 observations à Calais, par exemple. Pour les longitudes, ils font des observations variées : lune et étoiles de culmination, par exemple lune et Antarès à Dunkerque ; éclipses des satellites de Jupiter : émersion à Calais, le 1er juin, à Dunkerque, le 8 ; hauteurs de lune les 21, 22, 23 juillet à Amsterdam ; observations dont ils trouvent à leur retour les correspondantes, soit dans les observations lunaires que Lemonnier faisait à son observatoire de la cour des Capucins, rue Saint-Honoré, soit dans celles de Maraldi pour les satellites. A Amsterdam, le 16 juillet, ils manquent, par suite du mauvais temps, une occultation de λ Poissons. Enfin ils combinent leurs résultats avec les données antérieures. Quant à l'heure locale, ils la déterminaient invariablement par des hauteurs correspondantes observées au quart de cercle. Le 15 mai, au Havre, ils en prennent 33 le matin et autant le soir. Ils recommencent le 18, le 19 et le 24 et ils font de même partout.

Le Roy était parti de Paris le 1er mai avec ses montres A et S. La première avait déjà été transportée par terre et en rivière, par les soins de l'Académie. Malheureusement, dans le voyage au Havre, il lui arriva un accident. Le fil de clavecin auquel était suspendu le balancier se cassa. Le Roy le remplaça tant bien que mal, car il n'en avait pas de rechange. Le 15 mai, il la remit entre

les mains des commissaires, à leur observatoire du Havre, qui avait été installé à la tête du bassin. Il garda la montre S qu'il ne devait soumettre à l'examen officiel que plus tard, le 5 juillet, à la Brille, parce qu'il jugeait qu'il ne l'avait pas suffisamment étudiée. On embarqua tous les instruments le 20 mai seulement. A bord, les montres furent toujours placées à l'arrière, dans un endroit très mouvementé. La boîte qui les enfermait avait deux serrures, une clef était entre les mains de Le Roy, l'autre dans celles de Courtanvaux. Tous les jours, celui-ci, Pingré et Messier dressaient et signaient un procès-verbal sur lequel était marquée l'heure du remontage. On y ajoutait, quand on était à terre, celle de la pendule à midi vrai et la comparaison de la pendule et de la montre.

Aujourd'hui, nous touchons le moins possible aux montres embarquées à bord. Quand on les embarque, on choisit un jour de beau temps, et jamais on ne les transporte à terre. Les montres de Le Roy furent, au contraire, soumises, à ce point de vue, à un régime extraordinaire. Dans chaque relâche, on les portait à l'observatoire. A Dunkerque, le 7 juin, on les mit en canot par coup de vent. On touchait enfin aux aiguilles, puisqu'à la remise de la montre n° 2, elle fut mise à la même heure que la première. Il est vrai que dans la deuxième partie de la campagne, c'est-à-dire après Rotterdam, on prit plus de précautions.

Il est commode de représenter graphiquement, de la manière suivante, les variations de la marche. Portons en abscisses les temps, en prenant pour unité le jour ; en ordonnées les marches, évaluées en secondes et supposées déterminées chaque jour. Soit ABCDE la courbe obtenue. Supposons que A*a* soit la marche au départ. Si on détermine la longitude le jour *d* en admettant que la marche soit restée égale à A*a* pendant la traversée *ad*, ce qui est nécessairement le cas à la mer, l'erreur sur la longitude, en secondes de temps, sera mesurée par l'aire ABCDD', AD' étant parallèle à *ad*. C'est *l'erreur à l'atterrissage.* Mais si on veut déterminer la différence des longitudes des lieux *a* et *d*, on prendra

(du moins c'est ce qui a été fait dans tous les voyages dont nous parlerons) pour marche dans l'intervalle *ad*, la moyenne $\frac{1}{2}(Aa + Dd.)$ L'erreur sur la différence des longitudes des deux lieux considérés sera alors égale à l'aire GBCDH, diminuée de l'aire AFG, H étant le milieu de DD' ; ou bien à l'aire équivalente ABCD. C'est ce qu'on a appelé *l'erreur géographique.*

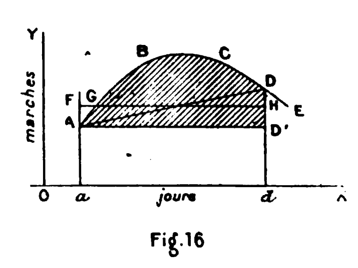


Fig.16

D'où on voit que l'erreur à l'atterrissage est égale à l'erreur géographique, à laquelle on ajoute l'aire du triangle ADD'. Par suite, si cette aire est négative, l'erreur à l'atterrissage sera plus petite que l'erreur géographique, et il eût mieux valu calculer la différence en longitude cherchée avec la marche de départ, plutôt qu'avec la moyenne entre les marches de départ et d'arrivée. C'est ce qui est arrivé effectivement dans quelques cas. Par exemple, dans la figure 17, l'erreur à l'atterrissage est nulle si les aires ABC, CED sont équivalentes, tandis que l'erreur géographique est égale à l'aire ABCD. Enfin si les marches, au lieu d'être observées chaque jour, ne sont déterminées que de temps en temps, la ligne brisée qui tiendra alors lieu de la courbe réelle des marches ne permettra de représenter qu'imparfaitement les erreurs en question.

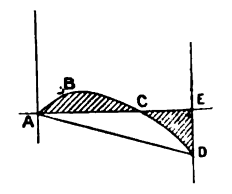


Fig.17

Le graphique ci-après représente les courbes des marches (1) des montres A et S pendant le voyage de l'*Aurore.* Ces courbes illustrent les conclusions de Pingré qui a mis en ordre le journal du voyage (2).

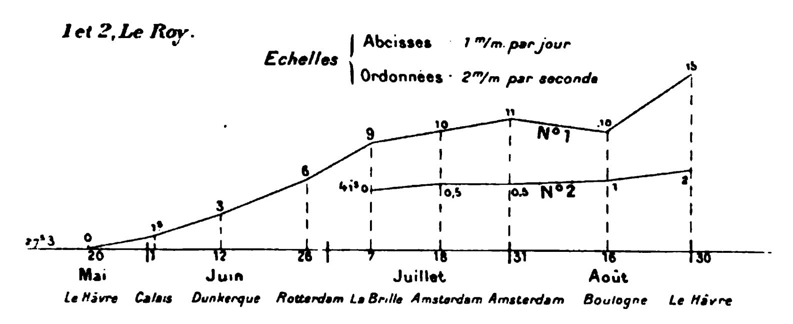
---

(1) C'est-à-dire alors de l'*avance* ou du *retard* diurne de la montre.

(2) Tous les graphiques de marches sont réduits aux 4/5 par rapport aux échelles indiquées.

On y voit que la première montre a reçu des degrés successifs d'accélération du Havre à Amsterdam. Au Havre, elle avançait, en effet, de 27^s 1 /3 par jour, tandis qu'à Amsterdam, son avance était de 37^s 1 /8, soit de 10^s plus grande environ. L'erreur à l'atterrissage, du 24 mai au 15 juillet, en 52 jours, eût ainsi été de 4^m52^s, ou de 70', quantité beaucoup moindre que les erreurs ordinaires de l'estime dans la même durée, mais trop grande encore.

COURTANVAUX sur l'"AURORE" 1767.



Après Amsterdam, d'ailleurs, cette montre a été beaucoup plus régulière, puisque du 20 juillet à l'arrivée au Havre, en 40 jours, avec une marche de 37^s 1 /8, l'erreur à l'atterrissage eût été de 51^s seulement, soit de 4,25 lieues ou de 12,75 milles à l'équateur. Les variations du mouvement moyen ont oscillé alors entre 1^s et $1^s,5$. Le Roy attribua une partie des anomalies de la première période à l'accident arrivé sur la route du Havre, ce qui est parfaitement vraisemblable. Et plus tard, en 1774, alors qu'il était attaqué par Berthoud, il fit remarquer aussi que les transports à terre avaient sans doute produit des anomalies. Il évalua celle qui fut due, d'après lui, au transport de Dunkerque, à 58^s, qu'il faudrait retrancher des 4^m42^s pour juger correctement de la valeur de la montre. Il faisait observer que dans la seconde période, les transports ont été moins brutaux et la régularité beaucoup plus grande. Quant à la deuxième montre, sa régularité a été remarquable. L'erreur à l'atterrissage au Havre, déduite de la

marche d'Amsterdam, n'aurait été que de $15^s,5$, c'est-à-dire de 1,3 lieue ou 4' à l'équateur, en 40 jours. Il est regrettable, toutefois, que l'épreuve de cet instrument n'ait pas duré plus longtemps. Ajoutons que les longitudes qu'ils ont adoptées pour les relâches sont suffisamment exactes pour ne pas infirmer ces résultats. Ils ont pris 8^m56^s pour celle du Havre ; 1^m57^s à Calais, 10^m6^s à Amsterdam et la *Connaissance des Temps* donne aujourd'hui, pour ces mêmes lieux, 8^m55^s, 1^m56^s et 10^m12^s. Quant aux services que les montres leur rendirent en mer, ils furent peu de chose, les traversées au large étant trop courtes. Au retour de Hollande, ils atterrirent correctement sur Boulogne par leur moyen.

Le voyage de Courtanvaux pouvait être considéré comme insuffisant. Il n'avait pas assez duré et son caractère n'était pas tout à fait officiel. Mais il était démontré que les montres de Le Roy valaient un sérieux examen. C'est pourquoi, dès l'année suivante, en 1768, Tronjoly reçut l'ordre d'armer la frégate l'*Enjouée*, de 28 canons, pour recommencer, sur des bases plus sérieuses, l'examen du voyage de 1767. Cette fois les épreuves étaient entreprises par ordre du roi, et, pour leur donner l'ampleur nécessaire, on décida de transporter les montres dans des parages à climats très différents, afin de voir comment elles se comporteraient par la chaleur et le froid, l'humidité et la sécheresse. Cassini le fils fut chargé des opérations astronomiques. Verdun de la Crène, qui devait, trois ans plus tard, commander une dernière expédition analogue, plus importante encore, faisait partie de l'état-major du bâtiment. Le voyage dura cinq mois, mais avec un trop petit nombre de relâches. On partit encore du Havre, le 13 juin, pour Saint-Pierre, près Terre-Neuve, où on arriva le 24 juillet, après une traversée de 42 jours exactement : les six semaines fixées par l'acte de 1714. On retraversa l'Atlantique en sens inverse, entre le 4 et le 26 août, jour où on mouilla à Salé, sur la côte du Maroc. La relâche de Salé fut peu fructueuse ; il fut impossible de s'installer à terre, l'autorisation nécessaire n'ayant pas été obtenue à temps. On repartit le 10, pour arriver le 13 à Cadix. La frégate y

rencontra la flotte destinée à la Vera-Cruz, sur laquelle Chappe devait s'embarquer pour aller observer, en Californie, le passage de 1769 de Vénus sur le soleil. Enfin la dernière traversée se fit de là à Brest, du 14 au 31 octobre.

On profita du voyage pour faire quelques expériences qui n'avaient pas trait à son objet principal. La plus importante consista à essayer une cucurbite de Poissonnier destinée à « dessaler » l'eau de mer. Bougainville, qui faisait son voyage autour du monde, en avait aussi une. On se procurait 6 à 7 barriques d'eau douce avec une de charbon. Cassini dit qu'il se trouva bien de n'avoir fait usage que d'eau distillée, jusqu'à Cadix où le charbon pour en faire manqua. On essaya aussi des tablettes propres à faire du bouillon aux malades. Enfin on fit beaucoup d'observations sur les pays visités, notamment sur les pratiques des pêcheurs de morue sur le Grand-Banc. Au premier coup de sonde, où on trouva le fond en y arrivant, une ligne, jetée à l'eau par un matelot, ramena une morue en même temps qu'on remontait le plomb de sonde. Les notes prises à Salé sur les mœurs des Musulmans, sont du même ordre que celles de Courtanvaux sur le chien-ours. Le Roy accompagnait encore ses montres. A Saint-Pierre et à Cadix on les transporta à terre. Dans cette dernière station, les commissaires les installèrent à l'observatoire de la marine dont Godin avait fait les plans après ses longues aventures dans l'Amérique du Sud. A bord on les avait placées auprès de la Chambre du Conseil (aujourd'hui le salon du commandant) sur une table enfermée dans une armoire ou cabinet dont la porte avait deux serrures. Tronjoly et Cassini en avaient les clefs. Au départ du Havre, elles avaient été mises sur l'heure temps moyen du lieu. Les seules observations qui furent faites à terre consistèrent à prendre des hauteurs correspondantes. Sous ce rapport, Cassini travailla moins que Pingré et Messier. Mais tous les jours les montres furent comparées l'une à l'autre ; ce qui était une excellente méthode d'examen. Enfin, tous les jours également, la longitude à la mer était calculée par les montres. Ce voyage ressemble ainsi exactement à ce qui se fait de nos jours. Pour les

observations sur le pont, on se servait d'une montre de poche qui était comparée aux horloges et servait de compteur.

On saisira les changements de la marche des montres sur la figure ci-jointe; mais on doit remarquer que les marches ayant été déterminées à des époques très espacées, les lignes droites du diagramme ne doivent représenter que très grossièrement l'allure des marches réelles. Les comparaisons journalières montrèrent tout de suite que l'une des montres au moins se dérangeait. Le Roy en attribua la cause à l'humidité des brumes de l'Océan et

CASSINI sur l'"ENJOUÉE" 1768

A et S, Le Roy — *Echelles* { Abcisses 1 m/m pour 2 jours ; Ordonnees 2 m/m par seconde }

Juin, Juillet, Août, Septbre, Octbre, Novembre — *Le Hâvre*, *St Pierre*, *Cadix*, *Brest*

l'explication en est peut-être juste, car nous savons aujourd'hui que le régime des montres n'est pas le même à bord qu'à terre et que l'humidité en est souvent une cause principale.

Le Roy crut entendre un frottement dans la montre S. Il demanda à l'ouvrir, l'examina en présence des commissaires, ne la toucha qu'avec ses doigts, n'y découvrit rien d'anormal et la remit finalement dans le même état, par rapport à A, qu'avant la visite. Toujours est-il que la longitude de Saint-Pierre fut trouvée égale à 58°30',5 par la montre A ; à 59°23',5 par S. Or cette longitude est de 58°30'51". De Saint-Pierre à Salé, S varia en sens contraire de l'anomalie qu'elle avait eue dans la première traversée, de sorte qu'il y eut compensations d'erreurs à Salé. A Cadix, on constata de fortes inégalités ; la marche de A surtout subit un saut

considérable. Mais les sauts de la marche sont encore la principale erreur à redouter dans les chronomètres. Ces sauts furent peut-être en relation avec de forts vents d'est, chauds et secs, qui furent éprouvés à ce moment. Peut-être y eut-il des poussières qui s'introduisirent alors dans la montre. Peu à peu, ensuite, elle se rapprocha de son ancien état.

Les résultats généraux se résument aisément. A Cadix, l'erreur à l'atterrissage, en 109 jours, était, sans tenir compte de la relâche de Saint-Pierre, de 56' par la montre A ; de 1°45' par la montre S. En 161 jours, du Havre à Brest, on aurait commis, si on n'avait vérifié les montres nulle part (mais cela n'arrive pas en pratique) par A une erreur de 2°44, et par S une erreur de 1°23'. Enfin, de Cadix à Brest, en 40 jours, en prenant pour marches les moyennes des marches si variables de Cadix, les erreurs auraient été de 4' par A et de 18' par S.

L'Académie jugea ces résultats assez bons pour lui permettre de délivrer à Le Roy le prix double de 1769. Dans le jugement porté sur ses machines, il faut toutefois relever la phrase suivante : « l'auteur a paru mériter la récompense dont le but principal est de l'encourager à de nouvelles recherches ; car on ne doit pas dissimuler que la montre n'a pas encore le degré de perfection qu'on peut y désirer ». Le souvenir de la précision obtenue par Harrison a dû contribuer à cette restriction. Enfin l'Académie, qui savait par ailleurs que d'autres artistes travaillaient, remettait la même question au concours en proposant encore un prix double pour 1773.

L'*Enjouée* faisait route sur Brest au moment même où Berthoud, croyant avoir atteint la précision désirable, livrait les montres 6 et 8 commandées en 1766. Praslin, alors ministre, avait obtenu du roi les ordres nécessaires pour faire vérifier ces instruments. Il avait choisi Fleurieu comme commandant de l'expédition décidée dans ce but. Il était entendu du reste que Berthoud, qui construisait sur commande, ne concourait pas pour le prix de l'Académie, car il ne voulait pas se partager entre cette société et le roi et il tenait à être uniquement occupé au travail de ses ma-

chines pour le Gouvernement. Au moins c'étaient là les raisons que Fleurieu donnait de son abstention, car Berthoud y ajouta plus tard d'autres motifs. Il raconta qu'à la veille du jour où le concours de 1767 devait être fermé, des membres de l'Académie le pressèrent de concourir contre ses intentions, mais qu'ayant divulgué ses procédés en 1763, dans son *Essai*, il ne croyait pas devoir entrer en lice avec des artistes qui pouvaient l'avoir copié.

Fleurieu, alors enseigne de vaisseau, avait devant lui une haute destinée scientifique et maritime. Il fut membre de l'Académie de Marine et de l'Académie des Sciences, directeur des ports et arsenaux pendant la guerre américaine, ministre et homme politique. Plein d'enthousiasme et poussant beaucoup ses camarades à s'instruire comme lui, il représentait un cas typique de l'officier savant. Par goût naturel, il avait travaillé l'horlogerie marine, préoccupé, comme tant d'autres, de la question des longitudes ; et, au cours de cette sorte de recherches, il s'était lié avec F. Berthoud. Aussi prit-il vigoureusement parti pour lui. Par exemple, il ne cite jamais Le Roy dans les relations du voyage de l'*Isis*, paru en 1773, mais il y dit par contre « que les droits de priorité de Berthoud sont hors d'atteinte et que le titre d'inventeur ne peut lui être contesté ».

Pingré est encore du voyage. Cette fois l'entreprise fut très sérieuse. Elle dura un an. Chez Courtanvaux et Cassini, le côté tourisme tient une grande place dans le récit du voyage. L'ouvrage de Fleurieu, au contraire, est tout entier technique. On ne se distrait plus, on travaille uniquement. L'*Isis*, de 20 canons, c'est-à-dire de 35 mètres de long, 9 mètres de large et 4 m. 50 de tirant d'eau environ, arme à Rochefort. L'itinéraire de la campagne est très étudié. Comme ils ne devaient pas faire beaucoup d'observations astronomiques pour fixer des positions géographiques, ils eurent l'idée d'éliminer les erreurs provenant des longitudes défectueuses en passant deux fois en un même lieu. Entre les deux relâches, en effet, la différence en longitude est alors rigoureusement nulle, et, par suite, la valeur des montres peut

être exactement mesurée. C'est pour cette raison qu'ils sont passés deux fois à Ténériffe, à Cadix et à l'île d'Aix.

Berthoud emballe ses montres le 13 octobre 1768 pour les transporter à Rochefort. Le 3 novembre, il les remet à Fleurieu et Pingré. Elles sont chacune dans une caisse dont Fleurieu a une clef et Pingré l'autre. Du 4 au 21 novembre, on les compare entre elles à l'observatoire. Mais pendant le transport à cet observatoire, leur marche relative a varié de 7^s. Ces montres étaient, en effet, très sensibles aux déplacements, à cause de la nature du moteur : poids lourd susceptible de varier beaucoup son action, en particulier au moindre choc. Aussi, une fois installées à bord, on n'y toucha plus jusqu'au retour, ce qui était nouveau. Elles furent enfermées dans la chambre du conseil avec les précautions ordinaires. Il fallait trois clefs pour pouvoir les atteindre ; l'une à Pingré, l'autre à Fleurieu, la troisième à l'officier de quart. Les procès-verbaux relatifs à leur traitement sont interminables. Le n° 6 s'arrêta entre l'observatoire et le bord : nouvelle preuve de leur sensibilité aux transports. Elle fut simplement remise à l'heure sur le n° 8. On arriva à l'île d'Aix le 10 décembre ; mais on ne put quitter définitivement cette relâche que le 12 février, après deux fausses sorties qui ne réussirent pas, à cause des vents contraires. On demeura à Cadix, « entrepôt du commerce des Indes occidentales », du 24 février au 15 mars. Là il arriva un nouvel accident au n° 6. Fleurieu et Pingré étaient allés à terre pour observer ; le mauvais temps se leva, et, malgré tous ses efforts, Fleurieu ne put regagner la corvette. Les montres devaient être remontées à midi. Or il avait sur lui la clef de sa chambre dans laquelle il avait laissé les clefs des montres dont il avait la garde. Pingré, au contraire, avait eu la précaution de remettre les siennes à l'aumônier. Les officiers, après avoir hésité, enfoncèrent donc la porte de la chambre de Fleurieu ; mais, quand ils prirent cette décision, il était trop tard, la n° 6 était arrêtée. On la remit sur l'heure que lui assignait les dernières comparaisons avec le 8.

De Cadix, du 15 au 19 mars, ils allèrent à Ténériffe. A l'arrivée,

l'erreur en longitude de l'estime était de 45'. La relâche suivante fut l'île de Gorée, dans la rade de Dakar, où on demeura cinq jours, du 4 au 9 avril, et d'où on se rendit à La Praya. L'*Isis* resta du 12 au 18 dans cette baie très ouverte, où la mer ne permit pas de faire des observations à terre. Alors eut lieu une première traversée de l'Atlantique. Elle fut rapide, puisque l'*Isis* arriva à Saint-Pierre de la Martinique le 4 mai, après seize jours seulement de mer, ayant parcouru une fois 200 milles en 24 heures, soit en moyenne, ce jour-là, 8,3 milles à l'heure. L'atterrissage par les montres fut très bon, tandis que l'estime était en erreur de 30 lieues, c'est-à-dire de plus de 1°,5. Le séjour aux Antilles fut de longue durée. Ils visitèrent Fort-Royal (Fort-de-France) et Cap François de Saint-Domingue, d'où ils partirent, le 16 juin, pour le Grand-Banc et les Açores. Ce n'est que le 23 juillet, après trente-sept jours de mer, qu'ils mouillèrent à Angra, à l'île de Terceire ; mais là, comme à Santiago du Cap-Vert, ils ne purent descendre à terre. Du 1er au 15 août, ils retournèrent à Sainte-Croix de Ténériffe ; de là, entre le 24 août et le 15 septembre, à Cadix, qu'ils quittèrent enfin le 13 octobre pour rentrer à l'île d'Aix le 31. Comme dernière épreuve, le 13 novembre, à l'île d'Aix, on fit cinq décharges de toute l'artillerie de la corvette en faisant jouer les deux bords ensemble. 45 serrures voisines des horloges, dont une de l'armoire même qui les contenait, furent arrachées. Il ne parait pas que les marches furent affectées.

En fait d'instruments astronomiques, ils n'avaient pas de lunette méridienne, mais ils emportèrent des quarts de cercle avec lesquels ils observèrent des hauteurs correspondantes à terre. A La Praya et à Angra, ils firent les observations du bord à l'octant et trouvèrent quand même de bons résultats. Ils se servirent en général des longitudes déterminées antérieurement à eux. Toutefois, au Cap François, ils déterminèrent la longitude par des hauteurs de la lune et par le passage de Vénus ; et, dans le même but, à Sainte-Croix, le 16 août, ils profitèrent d'une émersion du premier satellite de Jupiter. On comparait les montres restées à bord à la pendule astronomique installée à terre au moyen

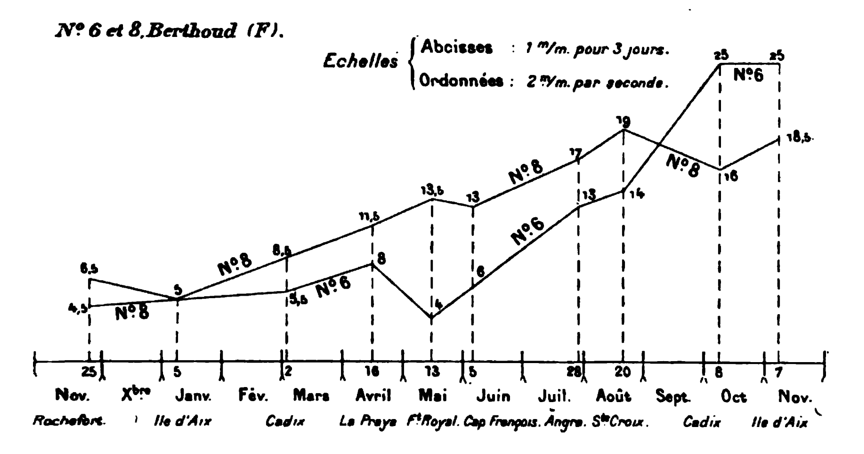
de signaux faits à l'observatoire avec des amorces de poudre.

Le Roy, même dans le voyage de Cassini, n'avait pas jugé nécessaire de dresser une table des variations de la marche de ses montres en fonction de la température. Berthoud avait, au contraire, délivré une telle table aux commissaires de l'*Isis*. Ses montres étaient réglées à 15°, et voici d'ailleurs un extrait des tables en question.

Temp. R.	*N°* 6	*N°* 8
5° (6°,25)...........	Avance de $5^s,8$	Retarde de $1^s,7$
10 (12°,5)	— 2^s	— $0^s,8$
15 (18°,75)...........	Réglée . 0^s	Réglée 0^s
21 (26°,25)...........	Retarde de 3^s	Retarde de $1^s,2$
32 (40°).............	— 16^s	— $6^s,2$

On voit, d'après cette table, que la marche du 6 ne variait pas dans le même sens des deux côtés de la température de réglage. Les courbes des marches tracées ci-dessous ont été établies en

FLEURIEU sur l'"ISIS" en 1768-69.



tenant compte de cette table. Les variations figurées représentent donc des anomalies ou accélérations réelles, dues au temps ou à des défauts de construction. Borda fut chargé d'examiner les comptes rendus de Fleurieu et de Pingré. Il les lut très attenti-

vement. Son rapport, lu à l'Académie le 21 février 1770, est un modèle de précision et de logique. Le sentiment n'y a aucune part. Il fait remarquer que la marche de l'île d'Aix est suspecte, puisque l'*Isis* a été à la mer pendant sa détermination. « On a donc supposé, dit-il, que la marche est restée la même à mer qu'à terre, mais c'est justement ce qui est en question. » De Cadix à Ténériffe, en quatre jours, 6 donne 8' d'erreur. A La Praya, les longitudes des deux montres diffèrent de 20'. Il combine les déterminations des longitudes de toutes les manières possibles. Par exemple, de Cadix à Saint-Pierre, en prenant, de Cadix à La Praya, la moyenne entre les marches entre les deux stations, puis la marche de La Praya pour le reste de la traversée, il trouve que 8 ne donne pas d'erreur, que 6 en donne une de 31', après 64 jours, dont une relâche. Joignons à ces quelques nombres les résultats suivants donnés par Fleurieu. Ils nous font connaître des erreurs à l'atterrissage. Cette erreur, à l'aller, à Cadix, avec la marche de Rochefort, était de 20' par le 8 en 87 jours ; au retour, à Cadix, et rapportée à Sainte-Croix, elle était de 50' par le 6 en 44 jours. D'un lieu au même lieu, il trouve, en supposant inconnues les longitudes des lieux intermédiaires et en employant, par exemple, de Sainte-Croix à La Praya la marche de Sainte-Croix, de La Praya à Gorée la marche de La Praya, etc.

27 mars-18 août .	Ste-Croix à Ste-Croix.	144 jours	42' par 8 et 39' par 6.
4 mars-4-octobre.	Cadix à Cadix	214 jours	36' par 8 et 1°24' par 6.
18 janv.-1er nov. .	Ile d'Aix à Ile d'Aix ..	287 jours	45' par 8 et 1°40' par 6.

Enfin voici les conclusions de Borda : 6 a eu une grande précision pendant les six premiers mois, du 8 décembre au 10 juin ; mais d'août à octobre, il est probable qu'elle n'aurait donné la longitude qu'à 1° près en 45 jours. Sa marche, en effet, a passé rapidement en juin et juillet de 6 à 13 secondes, et elle est restée dérangée. Quant au 8 elle a donné les longitudes de Ténériffe, de Gorée, du Fort Saint-Pierre et du Cap François exactement, mais ensuite elle s'est un peu dérangée et elle aurait donné la longitude tout au plus à 30' en 45 jours. Elle est redevenue excellente après

le second passage à Ténériffe. Les montres n'ont pas donné en somme moins de 30' d'erreur après 45 jours, dans toute la durée du voyage, mais 8 en a été très près. Et il pense, en fin de compte, « que les horloges de Berthoud peuvent être très utiles à la mer » et « que le voyage de l'*Isis* en fournit des preuves multipliées ».

Berthoud examina ses montres quand elles lui furent rendues. Les arcs décrits par le balancier du 6 avaient passé de 130 à 115° ; son spiral n'était pas isochrone et il le changea. Le nouveau eut 12 pouces (32 cm.) de long et une ligne 7/12 (3 mm. 6) de large. Les arcs du 8 n'étaient plus que de 210° au lieu de 240°. Le vieillissement des huiles en était cause et son spiral non plus n'était pas isochrone. Berthoud conclut de son examen qu'il fallait rechercher un échappement qui n'exige pas d'huile.

Fleurieu, allant plus loin que Borda, s'extasiait sur les mécanismes que l'artiste lui avait révélés. « Que de richesses étalées à mes yeux », écrivait-il en 1773. Et il ajoutait que le mérite de Berthoud « était au-dessus de tout éloge comme au-dessus de l'envie ». Ce mérite de Berthoud était très réel, cela est évident, mais Fleurieu manquait de sang-froid et de la juste mesure de Borda, et il visait Le Roy avec partialité.

Toujours est-il qu'après la campagne, Louis XV accorda à Berthoud des brevets, des appointements annuels de 3.000 livres et le privilège exclusif de la fourniture à ses vaisseaux. Il fut fait aussi inspecteur des horloges marines.

Les résultats des trois voyages précédents laissaient à désirer et Praslin se décida à poursuivre les épreuves. Il désirait de plus apprécier le mérite réciproque des machines de Berthoud et de Le Roy. La *Flore*, de 32 canons, arma à cet effet à Brest dans les premiers jours d'octobre 1771. Le commandement en était confié à Verdun de la Crène, lieutenant de vaisseau et de l'Académie de Marine. Il était assisté de Borda et de Pingré, de l'Académie de Marine et de l'Académie des Sciences et de l'astronome Mersais, un des très nombreux élèves de Lalande. Ozanne le cadet était aussi du voyage. Le n° 6, confié à Rochon, avait été embarqué sur le *Berryer*, bâtiment qui était parti à destination des terres aus-

trales. Ils devaient donc emporter les montres A et S de Le Roy, toujours les mêmes, et la montre 8 de Berthoud. Ils avaient aussi une troisième petite montre de Le Roy, désignée sous le nom de « petite ronde », mais elle ne concourait pas pour le prix de 1773 ; et deux autres montres, une de d'Arsandeaux et une de Biesta, tous deux horlogers de Paris. Le 5 octobre, les montres, sauf celle de Biesta, qui était arrivée avariée à Brest, sont embarquées et placées entre la Grand'Chambre (aujourd'hui le carré) et le mât d'artimon, à l'intérieur d'une armoire fermée par deux portes, de sorte qu'il y avait trois serrures à ouvrir pour arriver à une montre. Le 29 on met à la voile. Le 12 novembre, on s'aperçoit, en prenant les comparaisons journalières, que la montre A a retardé de 1^m exactement. Mais Le Roy fit remarquer plus tard qu'on avait fait le remontage précédent à l'heure où l'aiguille des minutes passait sur le trou de la clef ; et il proposa d'expliquer le retard constaté par un recul accidentel produit pendant le remontage. Les commissaires admirent qu'effectivement cela pouvait avoir eu lieu. Du 19 novembre au 12 décembre, on séjourna à Cadix ; du 18 au 21, à Funchal de Madère, puis, le 25 décembre, la *Flore* arriva à Sainte-Croix de Ténériffe. De là, ils firent l'ascension du pic. Ils remarquèrent entre autres « qu'au sommet les liqueurs perdaient toutes leurs forces », de sorte que « y boire de l'eau de vie raffinée ou de l'eau pure, cela est égal ». Nous pensons plutôt que l'eau de vie raffinée avait été du goût de leurs guides et que ces derniers l'avaient remplacée par de l'eau. Ils fixèrent géodésiquement la hauteur du pic à 1742 toises (3397 m.) (Il en a 3712, mais quelques-uns lui attribuaient plus de 5.000 m.). Du 4 au 15 janvier, ils vont de Ténériffe à Gorée, où la « petite ronde » s'arrête. Le 25 janvier, départ de Gorée. Le 28, la n° 8 s'était arrêtée. On la remit en mouvement, elle s'arrêta encore ; on recommença et elle ne s'arrêta plus. On supposa qu'elle n'avait pas été remontée la veille. Il parut qu'on avait dû faire faire deux tours et demi à la clef pour bander le ressort, alors qu'à l'ordinaire deux tours suffisaient, fait qui sembla confirmer l'explication supposée de l'arrêt. La frégate

s'arrêta à La Praya du 30 janvier au 3 février, puis elle continua à suivre l'itinéraire de l'*Isis*, en faisant route pour la Martinique. Pendant cette traversée, la *Flore* alla encore plus vite que celle-là, puisqu'ils arrivèrent à Fort-Royal le 16, ayant fait 720 lieues en dix jours, ce qui correspond à une vitesse moyenne de 9 milles à l'heure. Ils visitèrent plusieurs points des Antilles, jusqu'au 5 mai, jour où ils en partirent pour Saint-Pierre-et-Miquelon. Mais le 5 mars, il leur était arrivé un accident qui eut des conséquences très regrettables. La frégate, ce jour-là, en louvoyant devant le port de la petite île d'Antigue, au nord de la Guadeloupe, toucha sur la roche Willington (aujourd'hui Warington) qui est à l'entrée de la rade ; elle y resta échouée trois-quarts d'heure. Les plongeurs trouvèrent que la quille avait été en partie défoncée, et on décida de revenir à Fort-Royal pour abattre en carène et faire les réparations nécessaires. Berthoud s'était opposé au débarquement de ses montres ; on les conserva donc toutes à bord pour ces opérations, en suspendant les boîtes à une filière. L'abattage se fit le 17 mars. Tout réussissait ; malheureusement, un des caissons de la Grand'Chambre, contenant des bouteilles de vin, mal cloué, se détacha. Il tomba sur la montre A et le coup porta aussi en partie sur S. A devint très irrégulière et inutilisable. S fut moins affectée. Le 26, un nouvel accident eut lieu pendant l'abattage sur tribord. L'estrope du câble du grand mât se rompit et la frégate oscilla violemment. Après ce nouveau contre-temps, S subit, pendant deux mois, des accélérations progressives. Le 28 mai, on était à Saint-Pierre, le 1er juillet à Patrixfjord. La dernière relâche hors de France fut celle de Copenhague, fin août, d'où on rentra à Brest. Avant de désarmer, on fit trois décharges de toute l'artillerie. Elles brisèrent le fil de clavecin de S. Le 8 n'en éprouva qu'un saut de 1^s « irrégularité bien légère, qui n'a pas dû être causée par la décharge » dit le journal. Mais pourquoi pas ? La décharge eût-elle sûrement brisé le fil de clavecin sans la chute du caisson ?

On travailla beaucoup pendant ce voyage où on devait essayer tous les moyens proposés pour la longitude. La Commission avait

emporté trois quarts de cercle, des octants et sextants anglais destinés à l'observation des distances lunaires et deux pendules astronomiques. Pour prendre les comparaisons avec les pendules installées à terre dans chaque relâche, on hissait un pavillon à l'observatoire. A bord, on répondait à ce signal par un coup de pistolet, avertissement auquel on comptait à la fois à la pendule et au nº 8. Un canonnier, bien en vue des deux postes, tirait alors un nouveau coup de pistolet pour donner le top. L'opération était répétée cinq fois.

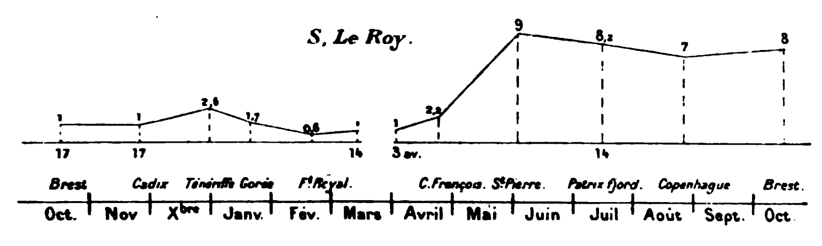
Voici qui donnera une idée de ce qu'on faisait à la mer. Le 15 mai 1772, à 5 heures du soir, on mesura cinq hauteurs de soleil pour calculer l'heure locale. A 9 heures, on prit des distances lunaires : de la lune à Régulus au sextant, et de la lune à α du Verseau au mégamètre de Charnières, dont nous parlerons plus loin. Plus tard enfin, dans la nuit, on observa une immersion du premier satellite de Jupiter.

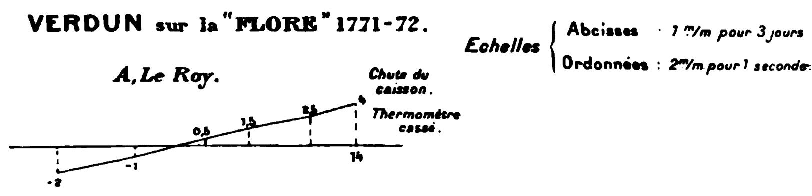
Donnons maintenant les résultats obtenus dans l'examen des montres. La montre de Biesta, réparée à Brest, ne marcha jamais bien et se brisa bientôt. Celle de d'Arsandeaux fut très irrégulière. Elle était très ingénieusement suspendue. Berthoud et Le Roy avaient tous deux remis des tables de correction des marches pour la température. Les montres étaient très bien compensées, ainsi que le montre le tableau ci-dessous des corrections pour la température. Ces corrections expriment des avances diurnes :

Température	*Nº 8*	*A*	*S*
3° (3,75)	0^s	6^s	$4^s,5$
10 (12, 5)................	$1^s,3$	$1^s,6$	0
15 (18,75)................	$2^s,5$	0^s	0
20 (25, »)	$0^s,5$	$0^s,5$	0
25 (31,25)	0^s	3^s	0^s

On tint toujours compte de ces petites corrections. Les conclusions des commissaires furent les suivantes. Un des thermomètres de la montre A avait été cassé par la chute du caisson, ainsi qu'on s'en aperçut à l'arrivée quand Le Roy ouvrit la montre. Jusqu'à

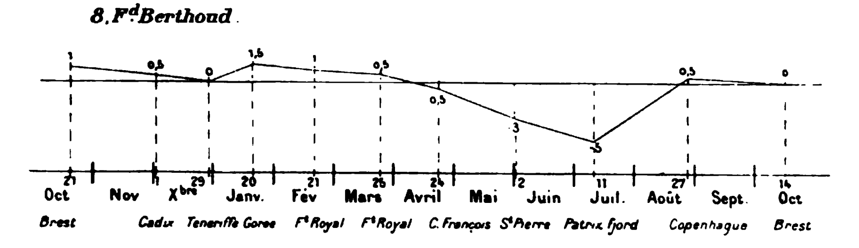
l'accident, la somme de ses accélérations en six semaines ne dépassait pas 2m40s. Elle pouvait donc donner la longitude à mieux que 45' près dans cet intervalle de temps. La montre S s'est sou-





tenue dans un mouvement sensiblement égal du 6 octobre 1771 à l'accident du 17 mars 1772 et de la fin de mai au 17 octobre 1772. La marche fut voisine, dans la première période, de 1s,5 ; dans la deuxième de 8s. Du Cap François à Patrixfjord, avec la moyenne des marches au Cap et à Saint-Pierre, jusqu'à Saint-

VERDUN sur la "FLORE" 1771-72.



Pierre, puis avec la marche de Saint-Pierre, elle aurait donné une erreur de 45' en 42 jours. Le Roy en rejeta la cause sur l'accident qui aurait produit, selon lui, deux dérangements : l'un retardant, l'autre accélérant son mouvement. Le premier, d'abord prépondérant, devait s'atténuer. L'autre, tel qu'un déplacement de masse du balancier, par exemple, était sans remède. On admit

« qu'il n'y avait rien que de très probable dans cette explication ». Donc, ajouta-t-on, « dans tout le cours de la campagne, elle a dû donner la longitude beaucoup mieux que dans la précision de 30' en six semaines ; exceptionnellement, en une seule occasion, la précision n'aurait été que de 45', mais alors le défaut d'une plus grande précision peut être attribué à l'accident antérieur ».

La montre nº 8 eut toujours une précision plus grande que 30' en 42 jours, sauf dans la traversée de Patrixfjord à Copenhague, où l'erreur aurait été de 34',5 en six semaines. « Les montres S et 8 avaient donc rempli les espérances qu'on en concevait et elles méritaient la confiance des navigateurs. » Leur bonne qualité n'était pas apparente. Elle ne pouvait résulter en effet de compensations d'erreurs quotidiennes, cela était prouvé par l'examen de leurs marches relatives, qui montraient que leurs accélérations avaient été progressives. Les artistes les avaient grandement améliorées, du reste, après les premières épreuves, et A et S s'étaient mieux accordées avec 8 en 1771 et 1772 qu'ensemble dans le voyage de Cassini, et que 6 et 8 dans celui de Fleurieu. Il suffisait, du reste, de trouver pour les irrégularités diurnes relatives des quantités plus petites que 2 à 3s. L'Académie, pour la seconde fois, accorda le double prix de 1773 à Le Roy.

Pour en finir avec ces épreuves, il faut revenir un instant sur la montre nº 3. Chappe l'emporta dans son voyage en Californie, où il mourut après avoir observé le passage de Vénus du 3 juin 1769. Il s'était rendu à grand'peine à San-Jose par Le Havre, Cadix, la Vera-Cruz, Mexico et San-Blaz. La montre lui donna la longitude à 10 lieues près après 75 jours de mer, à l'atterrissage sur la pointe sud de la Dominique. Il mit ensuite 37 jours à aller de là à la Vera-Cruz, et, en admettant une erreur de 15 lieues de la montre, il put en conclure que la longitude de cette ville était erronée sur les cartes de 3º. La montre fut rendue à Berthoud le 10 décembre 1770. Le 20 mars 1771, le Ministre la lui redemanda pour Chabert qui entreprenait une campagne hydrographique en Méditerranée, et Berthoud la reçut de nouveau le 26 novembre 1771, au retour de la *Mignonne*, dont la campagne avait duré

d'avril à octobre. Elle s'arrêta en arrivant à Toulon, l'huile s'étant desséchée. De plus, Berthoud avait fait promettre à Chabert de ne rien révéler à personne des résultats qu'il devait en obtenir ; et, comme d'autre part, Chabert, devenu aveugle en 1800 par excès de travail, ne termina jamais son *Neptune de la Méditerranée*, nous ne savons pas quels services le n° 3 lui rendit alors. Ils ne furent sans doute pas brillants, car Berthoud les aurait fait connaître, et il ne le fit pas. Il dit, par contre, que son spiral n'était pas isochrone et que son échappement était défectueux. Il y avait apporté plusieurs changements, y remplaçant le premier par un échappement libre, après quoi il revint au premier. Il avait aussi remplacé la grille de compensation par une simple lame en arc fixée à ses extrémités et s'appuyant par son milieu sur le spiral, plus ou moins gêné alors suivant la température.

Tels étaient les résultats officiels obtenus par Le Roy et Berthoud lorsque ce dernier fit paraître, en 1773, son *Traité des Horloges marines*. Il n'y disait pas un mot de Le Roy et s'attribuait purement et simplement tout ce qui avait été fait en France depuis Sully, pour la longitude à la mer par les montres. Le Roy fut révolté parce que Berthoud « essayait de lui enlever le peu de réputation que ses inventions lui avaient acquis » et il s'éleva alors entre les deux artistes une querelle de priorité dans laquelle Berthoud attaquait tandis que Le Roy se défendait. Les contemporains en général ne paraissent pas avoir attaché beaucoup d'importance à cette polémique. Fleurieu fut un extrême du parti de Berthoud pour lequel il plaida à l'Académie de Marine ; mais les commissaires du voyage de Verdun dirent simplement, en 1778, « qu'il ne leur appartenait point de décider le procès qui s'était élevé entre les deux célèbres artistes, au sujet de l'antériorité de leurs travaux et de leurs découvertes » ; que « ce procès était porté au jugement du public ».

Le Roy répondit au *Traité* par un *Précis des recherches faites en France, depuis* 1730, *pour la détermination des Longitudes, par la mesure artificielle du temps*, paru à Amsterdam en 1773 ; et l'abbé

de la Chapelle, censeur de cet ouvrage, l'approuva en disant que, « si les hauts talents de monsieur Le Roy l'aîné l'ont mis sur la première ligne des artistes célèbres qui ont perfectionné la théorie et la pratique de l'horlogerie, la modération avec laquelle il défendait et justifiait ses droits ne faisait pas moins d'honneur à son caractère ». La même année Berthoud riposta par des *Eclaircissements sur les Machines à Longitudes*, écrit après lequel Le Roy fit imprimer, à Leyde, en 1774, une *Suite* à son *Précis*, etc.

Berthoud faisait grand état d'un mémoire qu'il avait présenté à l'Académie en 1754, un mois avant un mémoire analogue de Le Roy. Il prétendait que le sien contenait tous les principes d'une horlogerie parfaite. Malheureusement, nous ne savons rien de certain sur cet écrit, car Camus et Bouguer, chargés de l'examiner, moururent sans laisser de rapport. Mais Berthoud déposa, en 1760, un second mémoire dans le même esprit. Or celui-ci contenait les principes de sa montre n° 1 qui ne fut jamais qu'un instrument grossier et inutilisable. On peut la voir, à côté des 6 et 8 et d'autres, qu'elle écrase de sa masse, au Conservatoire des Arts et Métiers. Elle comprend deux balanciers monométalliques continus, horizontaux et solidaires l'un de l'autre par le moyen d'arcs dentés montés sur leurs axes. Ces balanciers, guidés par des rouleaux, ont un pied (32 cm.), de diamètre ; ils pèsent plus de 3 livres et ils sont suspendus à un ressort plat de un pouce (27 mm.) seulement de long et de 2 lignes (4 mm. 5) de large. Chaque balancier a un spiral de 22 pouces (60 cm.) de long, 7 lignes 9/12 (17 mm.) de large et 2 millimètres environ d'épaisseur. Les arcs décrits n'étant que de 20° et chaque vibration durant 1^s, il en résulte que leur vitesse est très faible. Elle est munie d'un échappement à repos sur le régulateur ; le moteur est constitué par un ressort et la compensation est obtenue par le spiral. Le tout enfin est suspendu à la base d'une pyramide réduite à ses quatre arêtes, reliée par un ressort à boudin à un axe terminé par une rotule ajustée à une cardan. Cette horloge, exécutée en 1761, ne fut jamais livrée par Berthoud à des essais officiels, ce en quoi il fit bien.

Il est vrai que si on l'en croit, le mémoire de 1754 de Le Roy ne

contenait pas grand'chose non plus. D'après Berthoud, en effet, Le Roy y proposait d'utiliser comme régulateur seulement le ressort de suspension du balancier, sans spiral ; de donner au balancier la forme d'une lentille renflée au centre ; d'y adapter un échappement à roue de rencontre, ce que dément Le Roy ; enfin de dresser une table pour les variations des marches dues à celles de la température, sans installer de mécanisme compensateur approprié.

Heureusement, nous avons des données plus précises. Rien ne peut prévaloir en effet contre le fait que Le Roy a remis ses montres A et S en 1766, tandis que ce n'est qu'en 1768 que Berthoud a pu livrer les siennes ; et nous avons vu qu'il fallait écarter les épreuves du n° 3 en 1764 ; ou alors il faut attribuer la priorité absolue en France à Sully et même à Huyghens. Le Roy avait, du reste, présenté une montre en 1763.

La question de l'isochronisme du spiral fut une des plus discutées ; mais là, encore, il est certain que Le Roy a divulgué sa règle, si nette, dès 1766, tandis que ce n'est que dix-huit mois plus tard que Berthoud déclara avoir trouvé la sienne. D'ailleurs, en 1802, dans son *Histoire de la mesure du temps par les Horloges*, il paraît rendre justice à Le Roy en avouant que ce dernier a effectivement présenté, le 5 août 1766, sa découverte de l'isochronisme du spiral, comme un fait. Seulement, pour marquer ce qu'il veut s'attribuer dans cette question, il ajoute que c'est lui, par contre, qui a démontré théoriquement la règle de l'isochronisme et en a fait un principe, et il en conclut que la découverte de l'isochronisme doit être attribuée « uniquement » à lui. Mais cela ne nous paraît pas du tout évident, parce que, d'abord, sa prétendue démonstration, bien qu'admirée par Bernouilli, annonce-t-il, n'en est pas une, et ensuite en raison de ce que la règle de Le Roy n'est pas celle de Berthoud ; seulement la première est indubitablement préférable à la seconde et c'est celle qui a été suivie.

Nous avons vu que les horloges 6 et 8 étaient construites sur des principes opposés à ceux des montres A et S. Mais, suivons l'évolution des mécanismes de Berthoud. En février 1769, il commence son horloge n° 9, et il lui adapte un échappement libre. C'est celui

qui est représenté ci-dessous à gauche. R et R' (fig. 18) sont des ressorts de rappel. B et B' des butées. E est la roue d'échappement, *bb* le balancier. Ce système lui donne toute satisfaction, dit-il, et il considère cette partie comme absolument décidée. Il le simplifie cependant, lui donnant l'aspect figuré à droite pour l'installer sur

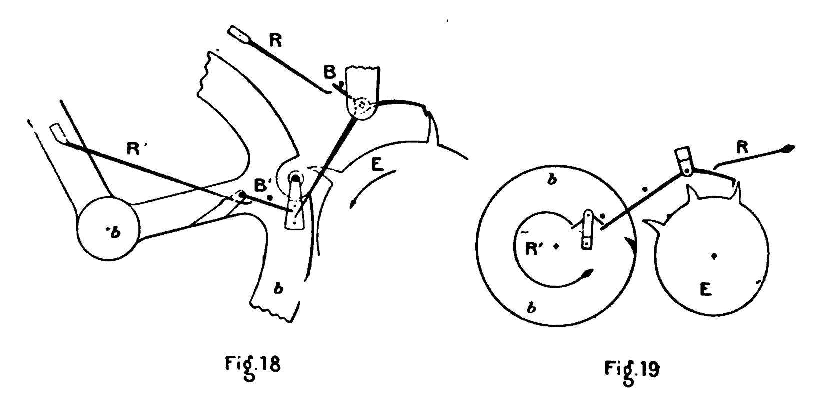


Fig. 18 Fig. 19

la montre n° 3 (fig. 19) lorsque Chabert la lui rend. Quelque temps après, il le trouve trop délicat et trop compliqué et il l'abandonne pour le cylindre, auquel l'huile n'est d'ailleurs pas nécessaire. Finalement, dans ses derniers ouvrages, il revint aux échappements libres d'une manière définitive. Ainsi, sur cette partie si importante, il adoptait les idées de Le Roy, mais près d'un demi-siècle après, puisque le premier échappement libre de Le Roy remonte à 1748. Il fit de même quant à la compensation de la température. En 1787, il construisit le balancier dessiné schématiquement ci-contre (fig. 20) (c'était encore une idée de Le Roy), moyen perfectionné qu'il utilise pour sa petite horloge à longitude n° 63, de 52 millimètres de diamètre, 35 millimètres de hauteur (13 centimètres avec le contre-poids situé au-dessous au bout de sa tige de suspension). Le balancier y porte deux bi-lames acier-cuivre, munies à leurs extrémités de poids montés sur des vis. Elles sont symétriques par rapport au centre et forment des demi-cordes de la circonférence du balancier.

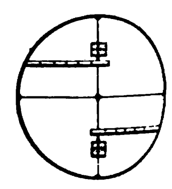


Fig. 20

De 1789 à 1806, enfin, il construit un certain nombre de montres, dont il n'a d'ailleurs cédé aucune, les réservant pour son instruction particulière. Or, sa petite horloge 73, faite spécialement pour les longitudes à la mer, a un balancier formé d'une roue continue portant trois bi-lames telles que *bb'*, libres à une extrémité *b'* et lestées en ce point d'un poids P. R est une masse régulatrice. Mais la compensation est complétée par une bi-lame portant un pince-spiral et agissant sur celui-ci. Cette montre, exécutée après 1803, prouve que Berthoud en arrivait à la compensation totale par le balancier. Enfin, en 1806, il fabriqua une montre astronomique de poche, propre à la navigation, dans laquelle le balancier porte la compensation « absolue » de la température par quatre masses dont les lames composées sont en arc de cercle. L'évolution était complète. Il va sans dire que les moteurs de tous ces derniers ouvrages sont des ressorts. Il avait écrit du reste, en 1802, que le balancier compensateur coupé de Le Roy dérivait d'une méthode fort bonne, adoptée en Angleterre et revenue en France.

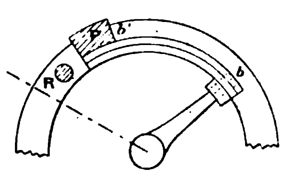


Fig. 21

Ainsi il glorifiait lui-même son rival qu'il avait accablé trente ans auparavant. Il avait alors appelé simples tentatives les montres de Le Roy éprouvées dans trois voyages, et publié dans les gazettes, huit jours après le couronnement qui suivit les épreuves, que lui, Berthoud, était le premier de son temps à s'être occupé de montres. Il disait à Le Roy qu'on ne lui avait jamais demandé d'instruments pour les vaisseaux du roi ; or, Berthoud avait le privilège de leur fourniture, à l'exclusion de tout autre. Cependant la marine russe s'était adressée à Le Roy et le prince de Croï avait essayé de faire embarquer une de ses machines dans la deuxième expédition de Kerguelen. Enfin il essaya d'interpréter défavorablement les résultats énoncés par Cassini et Verdun. Le Roy lui répondit plus justement « qu'il suffisait qu'il adoptât une théorie ou une invention pour

qu'il la crût aussitôt la sienne » (il est vrai que cela peut, psychologiquement, être sincère), et il ajoutait que sa montre était si simple, qu'un mécanicien de Londres, non horloger, l'avait du premier coup parfaitement reproduite, tandis que celles de Berthoud n'avaient tenté personne (1).

Le Roy avait plus de génie ; Berthoud une plus grande puissance de travail. Le premier était vraiment un inventeur ; le second savait surtout utiliser et combiner les mécanismes imaginés par d'autres. Mais il y a loin de là à la triple découverte de l'isochronisme du spiral, de l'échappement libre et du balancier compensateur, découvertes qui, selon Saunier, font de Le Roy le plus illustre « des horlogers qui ont honoré ou enrichi la France » et qui permettent d'affirmer aussi « que l'œuvre d'aucun des horlogers étrangers n'a surpassé la sienne ».

Après sa querelle avec Berthoud, Le Roy quitta la scène et ne fit plus rien. A sa mort, arrivée en 1785, ses machines restèrent entre les mains de sa famille ; et Berthoud, en 1802, regrettait qu'elles n'aient pas été placées dans un dépôt national, afin qu'elles ne soient pas perdues pour l'art. Cela lui fait pardonner ses injustices.

(1) Il faut toutefois attribuer à Berthoud l'idée de remplacer le pivot de la détente pivotée par le ressort de la détente-ressort. Berthoud faisait porter le ressort de dégagement par le balancier. Louis Berthoud et Arnold le fixèrent à la détente-ressort même. Bréguet fixa l'arrêt à l'extrémité d'un pont de détente, monté avec celle-ci. Cet arrêt était une came, qui fut enfin remplacée après lui par la tête d'une vis.

LA LUNE

I. — Les Tables lunaires

Courtanvaux raconte qu'on lui demandait quelquefois si l'honneur de résoudre le problème de la longitude devait appartenir à l'astronomie ou bien à l'horlogerie. La réponse était facile. Il n'y a que l'astronomie qui puisse y parvenir ; car c'est seulement par les moyens qu'elle donne qu'on peut régler les montres sur l'heure du premier méridien, obtenir leur marche et déterminer le temps local ; tandis que le chronomètre n'est qu'un instrument, très commode il est vrai, pour transporter d'une manière presque immédiatement utilisable les résultats des observations astronomiques faites pour le calcul de l'heure.

A la mer, c'était par des observations lunaires qu'on devait réussir. Pour cela il fallait avoir de bonnes tables de ce satellite. Donnons d'abord, dans une revue rapide, une idée des erreurs des tables lunaires antérieurement au XVIIIe siècle. D'après Tycho-Brahé, les erreurs des éclipses calculées par Copernic allaient souvent à une heure. Tycho, mort en 1601, améliora les tables de la lune. Il découvrit la variation et l'équation annuelle ; mais il ne savait s'il fallait faire de 30 ou de 50' le coefficient de la première, qui est égal à 39', et finalement il le fit de 4' trop fort. Quant à l'équation annuelle, il lui donna un coefficient de 4',5 au lieu de 11', d'ou une erreur de 6',5. Horrockes, sérieux astronome, mort prématurément à 23 ans en 1641, avait fait la variation de 36',5. Bouillaud, en 1645, n'a-

vait pu éviter dans le lieu de la lune, d'après sa théorie, des erreurs de 30 à 56' en longitude et de 23' en latitude. Les tables de Street, parues pour la première fois en 1661, et qui eurent plusieurs éditions, furent réputées. Or Flamsteed annonçait en 1680 que d'après leurs éléments, les erreurs sur la position de notre satellite allaient à 5 ou 6', quelquefois à 10 ou 11 ; et Halley, en 1710, les examinant en les comparant à des observations, trouva qu'en les utilisant il y avait des cas où l'on devait se tromper de 100 lieues (au minimum 5°) sur la longitude, ce qui correspond bien aux erreurs voisines de 10' signalées par Flamsteed.

Mais peu après, en 1713, Newton donna sa théorie de la lune dont il calcula les éléments au moyen des observations de Flamsteed. Lemonnier affirme que les erreurs tombèrent alors à 2 ou 3' ; mais qu'elles allaient quelquefois encore à 5', ce qui faisait 2°,5 sur la longitude, quantité encore beaucoup trop forte.

Vers le même temps fut faite une tentative qui devait séduire plusieurs astronomes jusqu'au milieu du XVIIIe siècle, et qui, si elle ne donna pas des résultats conformes aux espérances fondées sur elle, eut pour heureuse conséquence de faire faire beaucoup d'observations lunaires. Halley avait une grande confiance dans le « Saros », période qu'il attribuait aux Chaldéens, dont la durée de 18 ans 11 jours sépare les mêmes éclipses, en ramenant à peu près la lune et le soleil à la même distance du nœud de l'orbite lunaire et le soleil et la lune aux mêmes distances de la terre. Il en conclut trop hâtivement que les inégalités du mouvement de la lune devaient se reproduire identiquement tous les 18 ans 11 jours et que, dès lors, si on observait cet astre pendant un saros, on pourrait connaître les erreurs des tables pendant le saros suivant par celles qui avaient été constatées dans le saros des observations. Il avait succédé à Flamsteed, en 1720, comme directeur de l'observatoire de Greenwich, et il entreprit, en 1722, à 66 ans, des observations dans le but indiqué ci-dessus. Il les continua jusqu'en 1740 annonçant, dès 1731 (un demi-saros après avoir commencé) que grâce à son procédé, on pouvait avoir la longi-

tude à 1° près, ce qui revient à dire qu'il croyait donner la position de la lune à 2' près. Mais l'idée de Halley n'était pas exacte. Le Gentil prouva que, même pour les éclipses, elle ne donnait pas ce qu'il espérait et La Caille la jugea de même, la regardant « comme la dernière ressource d'une cause presque désespérée ». Enfin les recherches postérieures des géomètres démontrèrent son peu d'utilité. Pourtant, en 1732, Lemonnier commença, dans le même dessein que Halley, une série d'observations lunaires ; et, s'il les interrompit, après avoir réuni 400 observations, pendant son séjour en Laponie, il les reprit à son retour et les publia en 1751. Enfin, Cassini III de Thury, né en 1714, se rangeant dans la même école, observa également la lune de 1737 à 1755, période pendant laquelle il réunit 980 positions qu'il classa, pour plus de commodité, suivant les valeurs croissantes de l'anomalie moyenne ; précaution inutile, car Delambre fit remarquer que les erreurs qui auraient résulté de leur emploi allaient à plusieurs minutes ; et que, d'ailleurs, on n'avait presque jamais la correspondante exacte. Or Cassini avait les tables de Clairaut et de d'Alembert.

L'Académie de Saint-Pétersbourg avait proposé, pour sujet d'un prix de 1750, de déduire la théorie de la lune du principe de Newton. Un mémoire de Clairaut fut couronné ; mais Clairaut, dont La Caille pensait, en 1759 que, grâce à lui, il ne tenait presque plus à rien qu'on n'ait d'excellentes tables lunaires, n'avait pas réuni des observations suffisantes pour déterminer de bonnes valeurs des coefficients de ses formules et ses prédictions s'écartaient de 3 à 5' des valeurs réelles, ainsi que cela résultait de cent comparaisons à des observations de Cassini et de Maraldi. Il perfectionna ses tables, il est vrai, en 1765 et il fit alors tomber leurs erreurs à 1',5 ; mais on avait mieux à cette époque, comme nous allons le voir bientôt.

En 1768, l'Académie des Sciences avait mis au concours le « perfectionnement des méthodes sur lesquelles est fondée la théorie de la lune », la détermination « par ce moyen de celles des équations de ce satellite qui sont encore incertaines », enfin la question consistant à « examiner si on pouvait rendre raison, par cette

théorie, de l'équation séculaire du mouvement » de ce petit astre. Euler et Lagrange prirent part au concours ; et en 1772, trois pièces, deux d'Euler et une de Lagrange, avaient été envoyées. Ils y firent preuve de connaissances mathématiques profondes. Euler, qui avait déjà fait imprimer des tables en 1745 et en 1750, intitulait sa pièce de 1772 « Nouvelles recherches sur la lune, où on détermine toutes les inégalités auxquelles son mouvement est assujetti », ce qui était exagéré. Quant à la pièce de Lagrange, elle contenait une étude générale du problème des trois corps, qu'il appliquait ensuite au cas particulier de la lune.

Il était réservé à Tobie Mayer de donner enfin des résultats vraiment pratiques. Né en 1723, à Marbach, en Wurtemberg, où son père était inspecteur des eaux, il s'occupa d'abord avec succès de belles-lettres et traduisit en allemand une partie des *Métamorphoses* d'Ovide. Ce n'est qu'en 1746 qu'il se mit à l'étude de l'astronomie. Il devint professeur de mathématiques à Gottingen. Ses tables du soleil et de la lune parurent pour la première fois en 1753 dans les mémoires de Gottingen. Pour les construire, il rapportait la lune à trois axes, posait les équations d'Euler et les développait par approximations. Ne demandant à la théorie que la forme des équations et consultant les observations beaucoup plus que ses prédécesseurs, il se servait de celles-ci pour déterminer les coefficients. Il n'avait du reste à sa disposition aucune collection de passages méridiens, et il ne put utiliser que 200 observations en s'attachant surtout aux éclipses de soleil et aux occultations. Il s'était fait un catalogue d'étoiles zodiacales, ce qui lui montra que les positions qu'on en donnait alors étaient quelquefois erronées de 2'. Il adopta pour la parallaxe du soleil la valeur de 11",5 et employa 14 équations pour la longitude de la lune. En 1755, il adressa ses tables à l'Amirauté d'Angleterre « comme un des plus grands pas qu'on eût pu faire pour la découverte des longitudes et comme devant lui mériter une récompense aux termes de l'acte de la reine Anne », dit Lalande dans la *Connaissance des Temps* de 1767. Bradley les examina, les compara à 230 observations, et il attesta que jamais l'écart ne dépassait

1',5, et que, sur cette quantité, une partie pouvait être attribuée à l'observation. La plupart, d'ailleurs, étaient exactes à moins de 1'. En continuant l'examen, Bradley annonça qu'après quelques légers changements, les écarts avec 1.200 observations nouvelles tombaient au-dessous de 1'. Mayer, de son côté, ne restait pas inactif, et lorsqu'il mourut bientôt après, en 1762, il laissait à sa veuve deux exemplaires de tables nouvelles. Celle-ci envoya d'abord l'un d'eux au Bureau des Longitudes qui lui donna une récompense de 3.000 livres, en attribuant aussi 300 livres à la veuve d'Euler. Maskelyne était occupé à améliorer les données de ce manuscrit lorsqu'il reçut le second qui était encore plus complet et où Mayer rapportait 41 éclipses ou occultations dans lesquelles les erreurs de ses tables n'étaient que d'un petit nombre de secondes. Le Bureau ordonna de délivrer de nouveau 2.000 livres à sa veuve et il décida la publication des tables. Elles parurent en 1770 et furent aussitôt adoptées par tous les astronomes. Maskelyne, chargé de l'édition, s'aperçut qu'on pouvait les améliorer aisément au moyen des observations de Bradley. Celles-ci devaient en effet permettre de déterminer des valeurs des coefficients plus exactes que celles de Mayer et d'ajouter aux équations que celui-ci avait retenues quelques équations nouvelles qu'il avait indiquées, mais dont il n'avait pu déterminer les coefficients faute de recueil suffisant à sa disposition. Il chargea Mason de ce travail et cet astronome donna deux éditions des tables améliorées, l'une en 1780 et l'autre l'année de sa mort en 1787. Maskelyne crut pouvoir assurer alors que les écarts ne dépassaient pas 30''. Lalande, en 1792, écrivait que Mason fut désespéré de ne pas recevoir un gros prix du Bureau des Longitudes, mais Delambre douta d'une telle prétention. Ainsi on aboutissait de ce côté en même temps que par les montres.

Mais l'exactitude des tables de Mayer ne devait pas se maintenir très longtemps. C'était, au bout d'un temps plus ou moins long, le sort commun à toutes les tables de la lune. Mayer avait employé un mouvement du soleil trop fort de 25'' par siècle et Mason, qui avait à peine corrigé les époques, ne toucha pas aux

mouvements moyens, déterminés par Mayer au moyen des éclipses. Toujours est-il que l'erreur moyenne des tables de Mayer et Mason était devenue égale à 64" en 1803, alors qu'elle n'était que de 2" en 1792. D'autre part, Laplace avait grandement perfectionné la théorie de la lune ; et, en 1786, il avait enfin découvert, dans la variation séculaire de l'excentricité de l'orbite terrestre, la cause et la loi de l'accélération séculaire du mouvement moyen de la lune et des équations analogues relatives au périgée et au nœud de son orbite. L'Institut, pour tirer profit de ces découvertes, fit faire un nouveau pas à la question en proposant, en 1798, pour prix de 1800, de « déterminer par 500 observations les plus modernes et les meilleures les époques de la longitude moyenne, de l'apogée et du nœud de la lune » et de donner à la fin du calcul les arguments des principales inégalités de cet astre. Deux pièces furent envoyées ; l'une, écrite en latin, était d'un Viennois du nom de Burg, l'autre de Bouvard. Chacune des pièces contenait plus de 1.500 observations calculées et comparées aux tables et elles utilisaient les nouvelles équations de Laplace dont elles prouvaient l'exactitude. Burg se servait de 1.320 observations calculées de Maskelyne et d'autres de Flamsteed. Celles de Bouvard provenaient d'un plus grand nombre de sources. Il en avait retenu 680 seulement de Maskelyne, mais il en avait pris aussi à Flamsteed, Bradley, Lacaille, d'Agelet et Lahire et avait contrôlé quelques-uns de ses résultats en remontant aux données laissées par les Chaldéens, les Grecs et les Arabes.

La commission chargée d'examiner les travaux des deux concurrents ne put choisir. Elle arrêta que les deux pièces partageraient le prix. Bonaparte, Premier Consul, présidait la séance de lecture du rapport, et l'un des membres de la commission ayant proposé de doubler le prix, le Premier Consul y acquiesça et il fut suivi de tout le monde. Chaque concurrent reçut 3.400 francs. Mais Laplace jugeant que Burg, qui n'avait pu utiliser tous ses matériaux, faute de temps pour le faire, n'était pas assez récompensé, et désirant, d'autre part, l'encourager à poursuivre son travail, fit proposer, le 20 juin 1800, un nouveau prix dont le su-

jet était de « discuter et établir les valeurs des coefficients des inégalités de la lune, de donner pour sa longitude, sa latitude et sa parallaxe des formules plus exactes que les formules actuelles et de construire des tables sur ces formules ». Le prix était de 6.000 francs, dont une moitié devait être fournie par le Ministère de la Marine, l'autre moitié par le Ministère de l'Intérieur. Burg y répondit par un nouveau travail qu'il envoya dès le commencement de janvier 1801.

Ses nouvelles tables furent fondées sur une série de plus de 3.200 observations faites à Greenwich, sous la direction de Maskelyne, entre 1765 et 1793. Pour les établir, l'auteur avait formé une équation de condition pour chaque observation ; équations dont la somme générale avait fait disparaître les erreurs variables ; mais avait conservé une erreur constante. C'est par ce moyen qu'il avait corrigé l'époque de 1779, et il croyait, disait-il, que la longitude de la lune pour cette date était dès lors un des éléments les plus sûrs de toute l'astronomie. Près de 1300 observations pouvaient donner l'anomalie moyenne pour cette même année 1779. Pour déterminer une inégalité donnée, Burg retenait les équations les plus propres à ce but ; et il en a réuni de 900 à 1.200 pour chacun des coefficients à déterminer. Il n'y en a qu'un seul pour lequel il n'a pu utiliser que 688 observations. Enfin il a fait une deuxième approximation. C'est ainsi qu'il parvint à donner les latitudes exactes à 10'' près. Le mouvement moyen supposé par Mayer et conservé par Mason était trop grand. Par 200 observations de Flamsteed l'auteur trouva qu'il fallait le diminuer de 27'',6 par siècle. Enfin, profitant d'un séjour qu'il fit à l'observatoire de Seeberg, près de Gotha, Burg compara ses observations au ciel.

Pour la longitude, Burg ajouta 6 nouvelles équations aux 22 équations retenues par Mason qui en avait ajouté 8 à celles de Mayer, ce qui porta leur nombre à 28. La somme des 6 dernières ne pouvait d'ailleurs pas produire une erreur de plus de 1'. Pour la latitude, il avait 12 équations. Le bureau des Longitudes compara les tables à 113 observations de Greenwich et de Paris, il

trouva qu'il y avait concordance exacte pour la longitude moyenne de 1801. Le 25 juillet 1802 Laplace, Lagrange, Méchain et Delambre firent au Premier Consul leur rapport sur ce second travail de Burg. Ils lui rappelèrent qu'il avait fait doubler le premier prix et Bonaparte doubla aussitôt le second. Après ce nouveau succès, le ministre Chaptal essaya de fixer Burg à Paris, en lui offrant une pension de 3.000 livres, mais « le digne astronome préféra son pays avec moins d'avantages ». Grâce à ce deuxième prix, « on pouvait admettre, dit la *Connaissance des Temps* de 1805 (an XII), que cette partie, dont on s'occupait depuis plus de cent ans, était terminée de la manière la plus satisfaisante ». Les erreurs tombaient à des valeurs inférieures à 15 ou 20" et l'erreur moyenne était de 10". Elles se trouvaient ainsi environ trois fois plus exactes que les tables de Mayer, et 60 fois plus que celles de Street. On les communiqua à Maskelyne avant l'impression.

Une grosse difficulté avait été d'expliquer les anomalies restantes du mouvement moyen. Celui de Flamsteed, à la fin du XVIIe siècle, ne pouvait s'accorder avec celui de la fin du XVIIIe. Mais, le 26 janvier 1802, Laplace annonçait qu'il avait découvert une équation allant à 16", dont la période était de 185 ans, qui pourrait faire disparaître la discordance en question. Cependant on n'arrivait jamais au bout de ce problème (on y arrive à peine).

		BURG	BURKHARDT
Somme des carrés des écarts en longitude.	Par 167 observations de Greenwich et de Paris	7083"	4602"
	Par 137 observations de Paris et de l'Ecole Militaire.	6439"	4182"
Correction de l'époque de 1804, 5.		+ 0", 18	+ 0", 1
— — 1811.		+ 1", 4	—0", 1

En 1811 Burkhardt, au moyen de 4.000 observations, avait construit de nouvelles tables, plus exactes que celles de Burg. Il employait 32 équations pour la longitude et 12 pour la latitude. Il les présenta en décembre à l'Institut et au Bureau des Longitudes. Pour les apprécier, on choisit des observations distribuées sur les différents points de l'orbite lunaire et on compara les nombres de Burg et de Burkhardt. D'après les indications de Laplace, on fit la somme des carrés des résidus. Les résultats de cette épreuve sont consignés dans le tableau ci-dessus.

Et les tables de Burkhardt servirent à la *Connaissance des Temps* de 1817 à 1861. Ajoutons enfin que vers 1820, Plana, Carlini, Damoiseau avaient donné pour les mouvements moyens des valeurs encore meilleures que celles que l'on avait alors.

II. — Les Instruments de Mesure

On était donc en mesure de prédire les positions de la lune pour les temps de Paris. Pour trouver en un lieu ce temps de Paris correspondant à une heure locale donnée, il restait par conséquent à déterminer en ce lieu, par l'observation, la situation de la lune sur la sphère céleste.

Le 25 juillet 1708, le père Feuillée, religieux minime, mathématicien du roi, se trouvant par la latitude nord de 5° et par la longitude du Cap-Vert (il se rendait en Amérique du Sud pour y faire des observations astronomiques, physiques et botaniques), observa, « avec une bonne flaîche », la distance de la lune à l' « Epy » de la Vierge. Son calcul lui donna une longitude différant seulement de 48' de la longitude estimée, concordance heureuse qu'il eut la sagesse de ne pas chercher à retrouver par la suite. Il ne se faisait d'ailleurs aucune illusion sur la valeur d'une telle observation. Elle était très bonne en principe ; mais il fallait un instrument de mesure infiniment plus précis.

Cet instrument devait d'abord être l'octant, à la construction duquel on apporta, dans ce but, des améliorations successives. Le 13 mai 1731, Hadley présenta deux types d'instruments à réflexion. Ils sont figurés schématiquement ci-dessous. Celui qui est représenté d'abord (fig. 22) diffère sensiblement du sextant actuel. La lunette L y est installée dans le sens d'un rayon ; et Hadley le destinait surtout à prendre des angles quelconques, par exemple les distances des astres. L'instrument devait d'ailleurs, à cet effet, être supporté par un pied. Celui du deuxième type (fig. 23) ne diffère pas, dans sa disposition générale, du sextant d'aujourd'hui. Pour l'observation de la

hauteur du soleil, l'astre étant par derrière, il y avait un petit miroir spécial m_1, perpendiculaire au premier, une pinnule P et un réticule R destiné à faciliter l'opération. Les dispositifs proposés eurent tout de suite un grand succès. Non seulement Halley et Bradley poussèrent aussitôt à des essais sur mer, mais encore ils promirent leur collaboration. Les épreuves eurent lieu par ordre des « Right honourable the Lords Commissioners of the

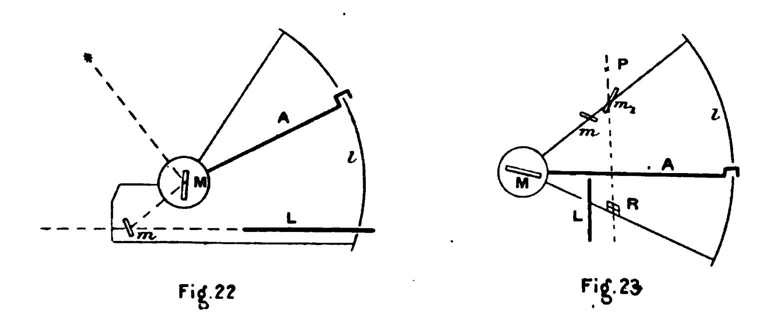


Fig. 22 Fig. 23

Aldmiralty », les 30, 31 août et 1er septembre 1732 sur le *Chatam-yacht.* Hadley présenta ses deux instruments, l'un en bois, l'autre, celui qui était supporté par un pied, en cuivre. Ses deux propres frères et Bradley l'assistèrent. Le 30 et le 31, le premier prit à bord, vers Gravesend par temps calme, le premier jour ; au mouillage, près de Sheerness, le second, les distances de α Lyre et de α Aigle, puis de Capella et d'une étoile de la Grande-Ourse, au moyen de l'instrument de cuivre. Les distances apparentes furent calculées d'après les données de Flamsteed et les erreurs se trouvèrent égales à 2' et à 1'. Le 31 et le 1er, 81 hauteurs furent observées, au mouillage et à la mer, vers le *Nore* et le *Spile Sand,* avec brise fraîche, soit par devant, soit par derrière, par Bradley, Henry et John Hadley. L'octant de bois, qui fut alors employé, avait des erreurs de 2 à 3' pour de petits angles. Les hauteurs étaient calculées au moyen de l'heure, de la latitude et de la déclinaison ; et, à part quelques-unes, grossièrement erronées par suite d'erreurs d'observations, les autres se trouvèrent, toutes corrections

10

faites, exactes à 1 ou 2' près. 40 erreurs étaient plus petites que 1'.

Un autre instrument, l'octant de Caleb Smith, fut proposé presque dans le même temps. Nous l'avons représenté ici sous ses différentes formes, en suivant les descriptions qu'en donnent Pézenas et Rochon (fig. 24 et 25). Dans l'une, le petit miroir est remplacé par un prisme dont les angles à la base sont de 68° et l'angle au sommet de 44° par conséquent. Dans l'autre, les deux miroirs

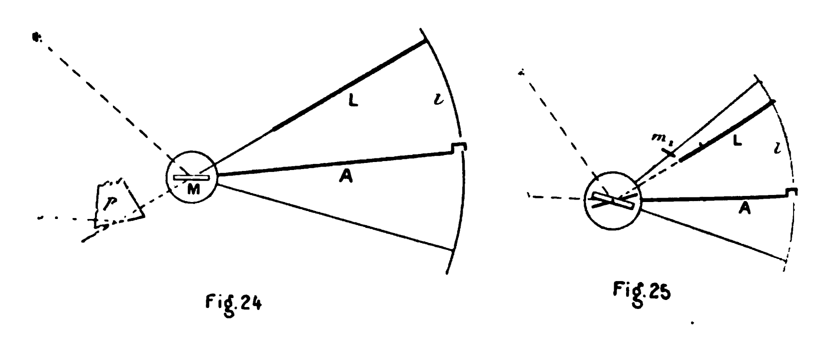


Fig. 24 Fig. 25

sont l'un au-dessus de l'autre, et l'un d'eux, jouant le rôle du petit miroir, n'est pas mobile avec l'alidade.

Un an après la communication d'Hadley, presque jour pour jour, un instrument semblable au sien, imaginé par un vitrier de Philadelphie, du nom de Thomas Godfrey, fut connu à Londres et d'autres instruments analogues furent proposés simultanément ailleurs. Enfin, en 1732 encore, de Fouchy eut aussi l'idée de ramener les deux directions formant un angle à une seule, de manière que le contact entre les images de deux objets étant établi, la coïncidence ne fût pas détruite par les mouvements du vaisseau ; ce qui n'avait pas lieu avec les anciens instruments puisque, avec le quartier de Davis par exemple, on devait maintenir une image focale sur une direction différente de l'axe de la lentille qui la formait. « Ces vieux domestiques, dont toutefois il ne convenait pas de dire du mal », étaient donc très inférieurs aux nouveaux « quartiers de réflexion ». L'instrument de de Fouchy, qui croyait être le premier à avoir eu l'idée, vieille déjà, du principe sur lequel ils sont fondés, était d'ailleurs plus

simple que tous ceux qui précèdent. Un miroir M (fig. 26) était fixé perpendiculairement au rayon MA d'un limbe, et une lunette L, portée par une alidade centrée en M, permettait d'amener l'image réfléchie d'un astre sur l'image directe de l'horizon. On observait l'astre par derrière (1).

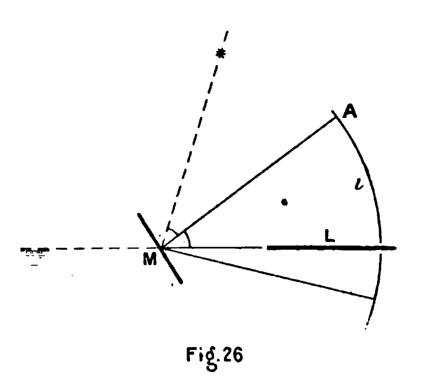


Fig. 26

Comparons maintenant ces divers instruments. Dans celui d'Hadley, le grand miroir est en dehors de l'axe optique de la lunette, par lequel passe le petit miroir, tandis que dans celui de Caleb Smith, les deux miroirs ou prismes sont sur l'axe optique. Dans le premier l'astre est réfléchi deux fois et l'horizon est vu directement ; tandis que dans le second, l'astre et l'horizon sont chacun réfléchis une fois ; et, pour viser l'horizon, il faut faire plonger l'axe optique de 44° au-dessous de lui. Même, en utilisant le petit miroir m_1, on pouvait recevoir une image de l'horizon deux fois réfléchie, la lunette regardant le ciel. Quant à l'instrument de de Fouchy, il ne permettait que d'observer par derrière. Or, on aurait pu disposer son miroir de manière à permettre d'observer par devant, en le fixant comme l'indique la figure ci-jointe (fig. 27) et il est intéressant de rechercher les raisons pour lesquelles de Fouchy ne l'a pas fait. Nous avons cru les trouver dans les remarques qui suivent. Si on cherche les angles que le rayon qui vient de l'astre forme avec le plan du miroir, on trouve les résultats contenus dans le tableau ci-après où h représente la hauteur de l'astre et où on a fixé à 30°, dans l'octant, la valeur de l'an-

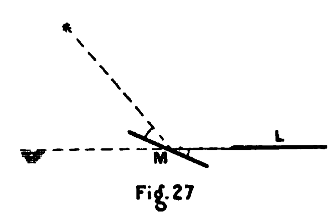


Fig. 27

(1) Il est intéressant de comparer cet instrument à celui de Hooke, page 16, qui n'avait aussi qu'un seul miroir.

gle formé au centre du petit miroir par le rayon réfléchi par le grand et par l'axe optique ; et à 44° l'inclinaison de la lunette sur l'horizon, dans l'instrument de C. Smith.

h	OCTANT	C. SMITH	DE FOUCHY PAR DEVANT	DE FOUCHY PAR DERRIÈRE
20°	65°	32°	10°	80°
40°	55°	42°	20°	70°
60°	45°	52°	30°	60°
80°	35°	62°	40°	50°

On voit que les incidences avec l'unique miroir de de Fouchy sont très faibles dans l'observation par devant ; et qu'avec l'inclinaison de 44° donnée à la lunette de l'instrument de C. Smith on les augmente de 22°. Il paraît, d'autre part, qu'il était nécessaire d'avoir à l'époque de grandes valeurs pour ces angles. En effet, plusieurs témoignages confirment qu'on éprouvait alors de grandes difficultés à construire des miroirs à faces planes et parallèles et on sait que les défectuosités qui en résultent sont surtout apparentes pour les rayons rasants. Par exemple, quelques années après le moment où nous sommes parvenu, de Fouchy essayant de prendre de grandes distances lunaires avec de faibles incidences sur des miroirs plans, aperçut, dit-il, jusqu'à 12 lunes par suite des réflexions qui se reproduisaient sur les deux faces des miroirs. Dès lors l'avantage devait rester à l'instrument qui, pour les observations ordinaires, permettait : 1° d'avoir des incidences ne tombant pas au-dessous d'une valeur assez grande ; 2° d'observer par devant dans ces conditions ; 3° de viser directement à l'horizon ou à un des points sans affaiblir cet horizon par des réflexions. Or seul l'octant d'Hadley réunissait ces qualités.

L'octant de C. Smith fut employé, dit Pézenas, par des capitaines célèbres. Cependant, à Marseille, il n'en avait vu qu'un seul encore en 1755, tandis qu'il y avait déjà vu une cinquantaine

d'octants d'Hadley. Il considérait comme un avantage, pour l'octant de C. Smith, la substitution de prismes à des miroirs, et le fait que la rectification et l'observation par derrière y étaient plus commodes qu'avec l'instrument d'Hadley ; et s'il concluait que c'était à l'expérience qu'il appartenait de décider lequel des deux était le plus pratique, il donnait, semble-t-il, ses préférences à celui de C. Smith. Mais nous pensons que les avantages de celui d'Hadley devaient l'imposer tôt ou tard, ce qui a eu lieu effectivement. Nous ne nous occuperons donc plus du quartier de C. Smith.

A l'origine, l'octant d'Hadley était de grandes dimensions et les octants eurent d'abord 18 à 20 pouces (50 cm.) de rayon. D'autre part, Hadley supprima presque aussitôt la lunette, d'installation délicate, et, croyons-nous, inutile avec un instrument qui devait forcément rester grossier par suite de la mauvaise qualité des miroirs et de ses autres vices de construction. De plus, à un moment où il était destiné à donner seulement la latitude et alors que la longitude était en général erronée de plusieurs degrés, il était inutile de délivrer aux marins un quartier coûteux, compliqué, et d'une précision dont ils n'avaient que faire, puisque quelques minutes d'erreur sur la latitude ne leur importaient évidemment pas. Il était en bois ; le grand miroir était de préférence de métal, parce qu'il était ainsi plus facile à construire, et on l'enveloppait d'un sac de peau « non passée au soufre » afin de le conserver en bon état ; car l'air salin pouvait le ternir rapidement. Il était invariablement fixé à l'alidade, sans vis de perpendicularité. Le petit miroir, au contraire, avait vis de parallélisme et de perpendicularité. Enfin le limbe portait généralement une simple division par transversales, quelquefois un vernier ; et on faisait la lecture à la minute dans le premier cas, à la demi-minute dans le second. Il n'y avait du reste pas de vis de rappel. Pézenas dit, en 1755, que les meilleurs octants étaient fabriqués à Londres, chez Ed. Nairne, que leur carcasse était en ébène, leur limbe en ivoire et leur alidade en cuivre. Les académiciens envoyés au Pérou en 1735 emportèrent un octant d'Hadley, dont ils

se servirent à la mer pendant leur voyage ; et Godin, dans une lettre, lui fit quelques objections : on éprouvait des difficultés, disait-il, pour s'assurer qu'on mesurait bien le plus petit arc allant de l'astre à l'horizon, surtout quand cet astre était près du zénith, et les réflexions affaiblissaient les images ; mais il concluait que l'instrument donnait les hauteurs avec une grande exactitude tout en ajoutant que l'instrument de de Fouchy, muni d'une lunette, donnerait sans doute de meilleurs résultats. C'est peut-être ce rapport qui amena de Fouchy à entreprendre de nouvelles recherches. A la demande du ministre Maurepas, il travailla en effet, en 1739, à rétablir la lunette. Son nouvel instrument est décrit dans les Mémoires de l'Académie pour 1740. Nous avons vu que l'académicien rejetait les miroirs. Il chercha d'abord à les remplacer par des prismes à petit angle ; mais les images étaient déformées, et il songea enfin, après d'autres essais, à leur substituer des verres sphériques de lunettes. Voici l'instrument auquel il s'arrêta. Le miroir G est une lentille plan-convexe étamée sur sa face plane, de 9,5 pieds (3 m.) de foyer (fig. 28). Il est perpendiculaire à GD quand l'alidade A est sur le milieu O du limbe *l*.

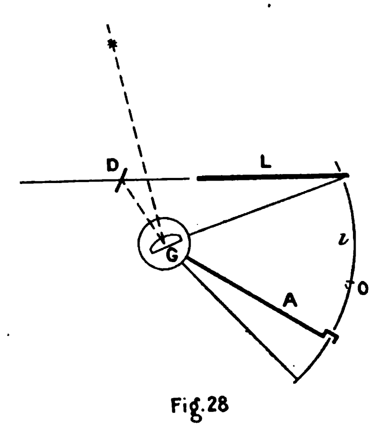


Fig. 28

Le système D est composé de deux verres. Celui qui est du côté de G, de 9,5 pieds de foyer également, est étamé en partie seulement. Le second n'est pas étamé et il a 2 pieds 8 pouces (86 cm.) de foyer. D fait un angle de 67°,5 avec la direction de l'axe optique et, pour combattre les déformations des images, l'objectif de la lunette est également incliné de 67°,5 sur le plan du limbe. Cette lunette grossissait 8 fois ; et, ce qui montre bien que dès cette époque on s'occupait de ces instruments en vue de distances lunaires, de Fouchy fait remarquer qu'on pouvait observer, grâce à ce grossissement, la distance d'une étoile à une des taches de la

lune. Cette combinaison était très bien conçue au point de vue optique ; mais l'instrument, trop ingénieux et délicat, et trop coûteux, ne fut jamais adopté par les marins.

Le premier navigateur français qui paraît s'être servi du nouveau quartier de réflexion fut d'Après de Mannevillette, capitaine de la Compagnie des Indes. Il était né au Havre en 1707 et il avait été attaché à ladite compagnie dès l'âge de 12 ans, en 1719, année où il obtint de faire un voyage aux Indes sur le vaisseau *Le Solide*, commandé par son père. Après son retour, il termina d'abord ses études ; puis il reprit la mer et il fit alors plusieurs voyages dans l'Atlantique. En 1732, il embarqua sur la *Galatée*, à destination de Pondichéry, par le canal de Mozambique. Ce voyage décida de sa vocation pour l'hydrographie ; il y forma le projet de corriger les cartes des Indes et commença à s'entourer de documents. En 1736, il retourna en Chine sur le *Prince-de-Conti*. C'est là qu'il se servit pour la première fois de l'octant d'Hadley. Peu après, en 1739, il donnait dans un petit livre la description du nouvel instrument qu'on trouvait à Paris, « Au nouveau quartier anglais », chez Le Maire fils, « qui faisait et vendait toutes sortes d'instruments de mathématiques ». Bory, chef d'escadre et membre de l'Académie des Sciences, publia en 1751 une nouvelle édition de l'opuscule. D'Après avait supprimé le second petit miroir destiné aux observations le soleil étant par derrière. On le maintenait pour pouvoir observer quand une terre se trouvait sous l'astre, ou parce que l'horizon est souvent meilleur à l'opposé du soleil que dans le même azimut que lui. Mais ce genre d'observation avait des inconvénients : « les rayons tombaient alors trop obliquement sur le petit miroir approprié » et la proximité de la pinnule ajoutait des difficultés à l'observation ; enfin la mesure de l'erreur instrumentale dépendait alors de la dépression de l'horizon, ce qui en rendait la détermination incertaine.

Bory recommandait un grand miroir de métal, « les miroirs de glace étant sujets à renvoyer plusieurs images d'un même objet ». L'instrument ne comportait ni lunette, ni verres colorés derrière le petit miroir. Parmi ses avantages spéciaux, il comptait la pos-

sibilité d'observer par temps couvert, dès qu'il y avait assez de lumière pour que le soleil pût former image tandis qu'avec l'arbalestrille, le soleil devait porter ombre. L'instrument était si précis, ajoutait Bory, qu'on devait « avoir égard aux réfractions ». Il y avait dans le petit ouvrage une table des dépressions de l'horizon et d'Après y avait joint les déclinaisons de six étoiles principales : La Chèvre, Sirius, Procyon, Arcturus, les « luisantes » de la Lyre et de l'Aigle, c'est-à-dire Véga et Altaïr. Pour la lune, Bory recommandait de prendre la hauteur de son centre, car la *Connaissance des Temps* ne donnait pas son demi-diamètre, pas plus que sa parallaxe d'ailleurs. En outre, il déclarait qu'il était bon de rétablir l'observation par derrière parce qu'elle complétait bien l'observation par devant.

D'Après n'oubliait pas la longitude. En 1749 il reçut le commandement du *Chevalier-Marin* à destination du Sénégal et il essaya sur ce navire de prendre des distances lunaires ; mais les miroirs de son octant n'étaient pas plans et sa graduation était défectueuse. Seulement, bientôt après il eut à commander le *Glorieux* sur lequel il devait emmener La Caille au Cap. Lui-même était chargé d'une mission hydrographique aux îles de France et Bourbon et sur les côtes sud-est de l'Afrique. Il fit faire alors à Londres, par Morgan, l'octant de réflexion qu'il devait emporter dans cette célèbre campagne pendant laquelle la longitude par la lune reçut, comme nous le verrons, une impulsion décisive. Ils partirent le 21 novembre 1750.

La lunette n'avait pas reparu sur l'octant. La Caille, dans un mémoire composé au cours de ce voyage, rédigea un projet destiné à la rétablir Il proposait un objectif de 29 à 30 lignes (6 cm. 5) de diamètre, de 10 pouces (27 cm.) de distance focale ; un oculaire de 3,5 à 4 pouces (8 à 9 cm.) de foyer. Le tuyau, pour être léger, serait fait en bois recouvert de peau de chagrin ou de roussette. Le champ, de 10°, devait être sans iris ni franges et le grossissement de 2,5 à 3. Mais la lunette ne fut sans doute pas encore réinstallée d'une manière courante. En effet, Courtanvaux, en 1767, raconte qu'étant à Dunkerque, il vit sur un bâtiment marchand anglais un octant

qui portait sous le petit miroir un niveau à « boule » d'air disposé de manière qu'une image de la bulle formée au foyer d'une petite loupe placée entre le niveau et le petit miroir, se fît au centre de ce petit miroir quand la ligne de visée directe était horizontale. Il voulut faire venir un de ces instruments d'Angleterre ; or, dit-il, « il était encore plus ingénieux, car les Anglais avaient adapté une lunette à la place de la pinnule ». Et nous avons aussi un texte de Fleurieu qui témoigne dans le même sens. Quand il parle des hauteurs correspondantes qu'il prit du bord à la Praya et à Angra, il dit qu'il les observa avec son octant « qui n'était qu'à pinnule » et c'était en 1768 et 1769. En 1781 enfin, Savérien, dans son *Dictionnaire*, écrit qu'il n'a jamais vu d'octant avec une lunette. Toutefois il en est fait mention dans la *Dissertation sur l'observation de la longitude* du chevalier de la Coudraye, ancien lieutenant des vaisseaux du roi, qui dit qu'en 1763 on l'avait déjà appliquée à l'octant devenu le sextant. De même le *Nautical Almanac* de 1767, calculé en vue des distances lunaires, prescrivait l'emploi d'un instrument muni d'un petit télescope grossissant 3 ou 4 fois. Il ajoutait que le vernier devait être accompagné d'une loupe grossisant de 1,5 à 2 fois. Ainsi les perfectionnements de l'instrument, l'extension du limbe à 120° en particulier, étaient dictés par le souci de la longitude. On revenait à ses origines.

En 1775, un certain Magellan, apparenté par ses ancêtres, si on l'en croit, au grand navigateur et qui nous a laissé, à cette date, le traité le plus complet qui ait existé dans tout le XVIIIe siècle sur les « octants et sextants anglais », dit qu'on y employait des pinnules simples ou à tube ou à lunette. Celle-ci grossissait 4 ou 5 fois. Elle avait un objectif achromatique à deux verres, un champ de 7 à 9° et un réticule formé par trois fils qui divisaient ce champ par parties égales. Terminons par Rossel qui écrivait en 1814 que tous les sextants avaient alors des lunettes.

A l'époque de Magellan le corps de l'instrument était quelquefois en cuivre et on trouvait des alidades munies d'une vis de rappel. Quant aux miroirs, ils étaient de verre ; les miroirs métalliques avaient été abandonnés quelques années auparavant. Ces miroirs

enfin, étaient en principe, montés comme aujourd'hui ; et il y avait deux petits miroirs, qu'on appelait alors miroirs *horizontaux*, parce que, quand on prenait hauteur, ils étaient sur la ligne allant de l'œil à l'horizon.

La seule rectification qu'on paraissait effectuer à l'origine consistait dans la mesure de l'erreur instrumentale, opération qu'on désignait par l'expression « faire l'ajustement ». Plus tard on se préoccupa de rendre les miroirs perpendiculaires au plan du limbe. Magellan dit qu'on s'assura d'abord de la perpendicularité du grand miroir en employant deux petites équerres dont l'une était percée d'un trou, tandis que l'autre était munie d'une coulisse pouvant se déplacer verticalement et portant un fil horizontal tendu dans une fente. On mettait le fil à la hauteur du trou ; puis on faisait sortir l'alilade du limbe pour pouvoir placer l'équerre à coulisse devant le miroir ; la seconde était posée sur le limbe, et, en regardant par le trou de celle-ci, on devait voir l'image de ce trou coupée par le fil. En faisant alors tourner l'alidade, on s'assurait également que son axe était bien perpendiculaire au plan du limbe. Borda simplifia ce procédé un peu compliqué. Il adopta des équerres plus simples qui ne différaient des viseurs actuels qu'en ce que les bases en étaient circulaires, et il donna la méthode de rectification qu'on n'a pas cessé d'employer depuis.

Hadley avait indiqué le moyen de tenir compte de l'inclinaison de la ligne de visée sur le plan du limbe. Il démontrait très simplement la formule exacte de l'erreur commise en faisant remarquer qu'elle était égale à la différence $BC - B_1C_1$ où B_1 et C_1 sont les projections des points visés B et C sur le plan $B_1 C_1$ du limbe (fig. 29). Il posait $BB_1 = CC_1 = i$, i étant l'inclinaison de la ligne de visée. Il n'est pas évident avec le sextant que ces deux arcs sont égaux. Cependant Borda, pas plus qu'Hadley, ne paraissent s'être inquiétés de le démontrer. Borda recommandait d'apprécier cette inclinaison i au moment du contact et de corriger l'angle lu de l'erreur qui en résultait. Il donnait la table néces-

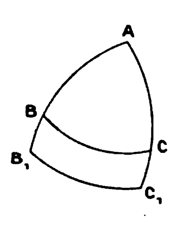


Fig. 29

saire, d'ailleurs très simple. Aujourd'hui où le grossissement est plus fort et le champ plus petit, il est plus indiqué d'observer au centre du champ.

Une autre erreur, dont on se préoccupait à plus juste titre, était celle qui provenait de la prismaticité du grand miroir. Bezout la signale en 1769 à l'attention de l'Académie de Marine et on en trouve l'évaluation dans son cours de navigation. Une table des corrections qu'elle rend nécessaires fut jointe à la relation du voyage de la *Flore*; et Borda la reproduisit dans ses traités relatifs au cercle de réflexion en la complètant de manière à la rendre utilisable dans tous les cas d'observations avec cet instrument.

Le sextant est un instrument précieux en ce que les erreurs provenant d'une rectification imparfaite sont du second ordre de petitesse par rapport aux inégalités qui les causent. Celle qui est due à la prismaticité du grand miroir est au contraire du premier ordre ; mais la plus redoutable provient sans contredit des erreurs d'excentricité et des imperfections de la graduation. Le grand rayon des instruments primitifs les atténuait sans les faire disparaître. D'Après, par des distances d'étoiles, dressa une table des erreurs de division de son instrument de 1750. Nous la reproduisons ici :

Angles	Erreurs	Angles	Erreurs	Angles	Erreurs
4°,5	— 2'40"	25°,75	+ 1'20"	46°	—3'50"
14°,75	— 2'20"	26°,5	— 0'30"	65°,75	—2'10"
22°,75	— 2'20"	37°,5	— 3'0"		

Il disait du reste qu'il était rare d'avoir un instrument exact à 2 et 3' quand on ne l'avait pas étudié comme il l'avait fait. Cassini, sur l'*Enjouée*, pense que l'octant à lunette donnait les hauteurs à 2 ou 3' près. Chabert, en 1759, prétendait les obtenir à 1' près avec son octant muni d'une lunette. Godin enfin, évaluait à 15 ou 20 se-

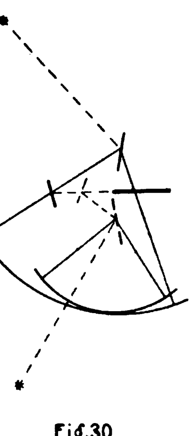
condes l'erreur sur l'angle horaire calculé par une hauteur prise à la mer avec l'octant, erreur qui était réduite de moitié si on prenait des hauteurs correspondantes. Mais il est probable que les évaluations qui précèdent donnent une trop bonne idée de la valeur des instruments de l'époque lorsqu'ils étaient entre des mains quelconques.

Signalons encore une erreur singulière que nous ne savons à quoi attribuer. Goimpy et Fleurieu, pourtant compétents, croyaient, par leur expérience, que la pinnule dilatait le disque du soleil jusqu'à lui donner une valeur de 40' (1).

Les perfectionnements successifs qu'on cherchait à apporter à l'instrument furent parfois accompagnés de tentatives peu heureuses. Magellan imagina de monter deux petits miroirs sur un plateau pouvant tourner autour du petit miroir ordinaire, ce qui portait à trois le nombre de ces miroirs horizontaux. Il pouvait ainsi mesurer des angles plus grands que le double de l'étendue du limbe. Il multipliait aussi les pinnules, en plaçait sur la base du grand miroir, à l'opposé du limbe, sur le limbe, vers le rayon du petit miroir et sur ce rayon. Il variait ainsi les combinaisons des observations possibles ; mais tout cela était inutile. Il imagina également un sextant double formé de deux limbes accolés par un rayon ; le zéro était au milieu du limbe résultant, et chacun avait à droite et à gauche du zéro un développement de 65°. Au centre, il plaçait deux grands miroirs perpendiculaires entre eux. Enfin la lunette pouvait occuper deux positions et un petit miroir correspondait à chacune d'elles. Cet instrument, disait-il, permettait, en prenant un angle par la droite et par la gauche, d'avoir son double sans mesurer l'erreur du zéro ; idée excellente, qui est aussi celle dont la réalisation pratique a fait la fortune du cercle de Borda. Enfin il reste un mot à dire du « sextant double » que Rowland avait fait exécuter dans le but d'étendre le champ du sextant ordinaire. Il était composé d'un petit

(1) Cette dilatation était peut-être due à un phénomène d'irradiation rétinienne. Mais elle était bien grande.

sextant (fig. 30) superposé à un plus grand. La lunette seule leur était commune. Il était d'un prix très élevé, trop lourd et d'une exécution très difficile. Parmi toutes les solutions imaginées pour permettre de mesurer de grands angles : miroir de Daussy, prisme de Koss, c'est sans doute la moins bonne et la plus compliquée.


Fig.30

Pour prendre des hauteurs à terre, il existait déjà des horizons artificiels qui étaient à eau, à mercure ou à mélasse.

Un instrument à réflexion plus parfait que le sextant fit son apparition vers le milieu du siècle. Il dépouillait la mesure de l'effet des erreurs de division. L'idée de répéter les angles, afin de réduire ces erreurs à une quantité très petite, est généralement attribuée à Tobie Mayer. Il est juste cependant de reconnaître que Rœmer, dès 1700, pensait qu'il fallait substituer à l'ancien quart de cercle un cercle entier. En tous cas, Mayer fit connaître, en 1752, le principe de la répétition des angles. Travaillant à des levés topographiques en Allemagne, il effectuait cette répétition avec une planchette munie de deux règles, en évaluant les angles au moyen d'un compas et d'une table des cordes. C'était là son multiplicateur pour la géodésie. En 1755, d'après Lévêque et Borda, il envoya au Bureau des Longitudes un dessin de son cercle de réflexion destiné à la marine. Les commissaires firent exécuter l'instrument par Bird et les capitaines Campbell et John Bradley furent chargés de le comparer sur mer à l'octant de Hadley. Des mesures faites sur le *Royal-George*, en 1757, 1758 et 1759, en vue du cap Finistère et d'Ouessant, donnèrent des résultats qu'on trouva très bons. Toutefois on reprocha à ce cercle d'être de petit rayon, incommode et pesant, de sorte qu'il fut vite oublié. Le dessin du cercle de Mayer fut toutefois imprimé dans sa *Theoria Lunæ* parue à Londres à ce moment.

Il était réservé à Borda d'apporter à cet instrument des modifications telles que dans sa nouvelle forme il devait être appelé à

rendre de grands services qu'on n'a pas cessé encore de lui demander. Le premier cercle de Borda fut exécuté en 1775, « il y avait environ 12 ans, » disait-il lui-même en 1787. L'illustre savant reconnaissait d'abord que personne n'avait fait un aussi grand pas dans la recherche des moyens de perfectionner les instruments à réflexion que Tobie Mayer, puisqu'avec sa méthode il ne tenait qu'à la patience de l'observateur que les erreurs qui provenaient des défauts des divisions ne fussent presque totalement détruites.

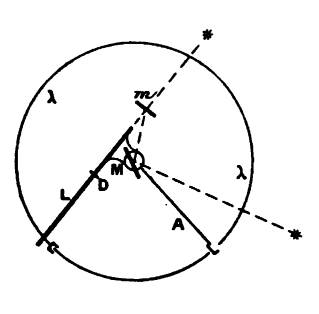


Fig. 31

Puis il faisait remarquer qu'avec la disposition de Mayer (fig. 31) dans laquelle la lunette L dépassait le centre du cercle du côté de l'objectif et où cette lentille venait très près du petit miroir, l'observation d'une distance était toujours nécessairement précédée d'une observation préparatoire par laquelle on rendait les miroirs parallèles. C'était là sans doute une des raisons pour lesquelles ce cercle n'avait pas été adopté par les marins. Au contraire, Borda, en raccourcissant la lunette, jusqu'à mettre l'objectif en D et en mettant un espace suffisant entre cet objectif et le petit miroir, qu'il rapprochait du limbe, permit de recevoir l'image du point réfléchi indifféremment par la droite ou par la gauche de la lunette, de telle sorte qu'en combinant les deux manières d'observer, on supprimait l'obligation du parallélisme tout en mesurant le double de l'angle à déterminer. Le double de l'angle était alors obtenu par deux observations, tandis qu'il en fallait quatre pour arriver au même but avec le cercle de Mayer. Le nombre des observations était donc diminué de moitié.

Mendoza, en 1801, proposa d'aller plus loin. Après dix observations croisées au cercle de Borda, disait-il, l'une des alidades avait parcouru un arc dix fois plus grand que le double de l'angle à mesurer ; et l'autre neuf fois le double de ce même angle. Il eut alors l'idée de réunir le mouvement des deux ali-

dades pour obtenir un arc 19 fois plus grand que le double de l'arc parcouru. A cet effet il employait un seul vernier fixé à un cercle tournant autour du centre du limbe, et ce vernier pouvait être lié par des vis de pression à chacune des deux alidades, de manière à en recevoir le mouvement. Chaque alidade avait donc deux vis de pression, l'une pour l'attacher au cercle porte-vernier, l'autre pour la fixer au cercle divisé. Ce dispositif avait l'inconvénient de compliquer l'instrument et d'être sujet à des erreurs dues aux glissements qui pouvaient se produire entre les alidades et le cercle du vernier. D'ailleurs, en prenant la moyenne entre les résultats que donnaient les deux alidades du cercle de Borda, chacune munie d'un vernier, on aurait très probablement une exactitude comparable à celle de la méthode de Mendoza. Ce dernier fut très bien inspiré par contre en imaginant un dispositif de calage pour avoir tout de suite les deux objets dans le champ. Il consiste en un petit cercle de cuivre gradué et attaché par ses deux extrémités à l'alidade portant le petit miroir. Sur ce cercle glissent deux pièces de cuivre qui, maintenues par des ressorts, forment des butées permettant d'obtenir le but cherché. Deux cercles de Mendoza furent mis en essai à Brest en 1802 par les soins du préfet maritime qui chargea le capitaine Maingon de les essayer.

D'autres formes de cercle de réflexion ont été tentées. Jecker en a construit un qui portait deux alidades dont la longueur était égale à celle du rayon du cercle. L'une portait, au centre de rotation, un grand miroir métallique, poli sur ses deux faces et orienté suivant son axe. A la seconde étaient liés deux petits miroirs identiques dont les plans non étamés étaient en face l'un de l'autre. Ils étaient installés symétriquement de part et d'autre de l'axe de cette seconde alidade dont ils se trouvaient très rapprochés puisque leur distance n'était pas deux fois plus grande que sa largeur. Ils étaient également rapprochés du centre du cercle et placés entre le grand miroir et l'objectif de la lunette. Celle-ci était portée aussi par l'alidade des petits miroirs ; elle était articulée du côté de l'objectif et pouvait être bloquée du côté de l'ocu-

laire aux deux extrémités d'un petit secteur, de manière à être pointée dans chaque position sur le centre de l'un ou de l'autre petit miroir.

On essaya un autre instrument, dérivé de l'héliomètre de Bouguer et destiné à mesurer avec une grande précision les distances de la lune à des étoiles rapprochées. Bouguer, en 1748, avait déjà proposé d'étendre le champ de l'héliomètre pour appliquer cet instrument à l'observation de distances lunaires et La Caille a eu entre les mains un héliomètre pouvant mesurer des angles de 3 à 4°. Un lieutenant des vaisseaux du roi : de Charnières, devait poursuivre ces études. Il fut, à ses débuts, guidé et stimulé par le « pilotin Véron » qui, en 1765, avait pris du service dans la marine militaire après avoir suivi au Collège Royal le cours d'astronomie qui y était professé par Lalande depuis 1761. Charnières décrivit son « mégamètre » dans un mémoire du 11 novembre 1766 ou seulement de 1767, car ses autres ouvrages nous laissent dans le doute là-dessus. Il reprochait à l'octant son peu d'exactitude, défaut dû surtout, d'après lui, à la prismaticité du grand miroir, dont il évalue d'ailleurs les effets par de trop grandes valeurs. En 1772 il fit paraître un ouvrage détaillé sur son instrument et sur son usage. Il était construit par Carochez et coûtait 350 livres. Dans un premier modèle les demi-objectifs se déplaçaient sur un plan ; mais, après quelques recherches qui lui furent assez difficiles, il parvint à découvrir le moyen de les déplacer sur des arcs de cercle ayant leur centre à leur foyer commun. Leur diamètre était de 15 lignes (34 mm.) et leur distance focale de 40 pouces (108 cm.). On pouvait déplacer légèrement l'une des demi-lentilles dans sa monture, afin de pouvoir l'ajuster sur l'autre de manière à réunir leurs deux images en une seule. Une vis à pas inverse, mue par une molette située près de l'oculaire avec tige extérieure et engrenage à angle droit à côté des objectifs, permettait le rapprochement ou l'éloignement des verres. Le grossissement était de 52 et le champ de 1°,3. Enfin la lecture se faisait au moyen d'un vernier qui donnait la seconde d'arc sur une vis micrométrique dont les divisions étaient de 4",8. On pouvait

mesurer des arcs de 10 à 12° au maximum. Le système optique était enveloppé d'une boîte en bois à sections rectangulaires, et, comme l'appareil était lourd, Charnières, pour le supporter, avait construit un pied à mouvements très libres. La valeur des divisions de la vis était aisément déterminée par la mesure d'un angle connu. Le 25 octobre 1767 Charnières avait observé, dans ce dessein, la distance de α et β du Petit-Chien au moment où ces étoiles étaient dans le même azimut. Le 5 septembre 1769, aidé par Jeaurat, il plaça dans le même but des mires sur le Champ-de-Mars, en face de la porte du vestibule de l'Ecole Militaire. Les mires, appuyées contre la banquette du Champ-de-Mars, parallèlement à la Seine, sous-tendaient un angle de 8° à la distance de 469 toises 5 pieds (930 mètres environ). Son mémoire de 1766 ou 67 ayant été bien accueilli, Charnières demanda au ministre Praslin à embarquer sur un bâtiment allant aux Antilles, afin d'essayer son appareil. Il avait alors fait construire trois mégamètres : un pour l'Académie, un deuxième pour Courtanvaux et le troisième pour lui. Chappe en avait fait construire un quatrième. Il partit le 11 octobre 1767 de la rivière de Nantes, sur la *Sensible*, à destination de la Guadeloupe. Il pouvait observer des étoiles de la 3e à la 4e grandeur jusqu'à 1° de la pleine lune. Mais il n'observa pas beaucoup, surtout au retour où il fut malade. Nous ne signalerons que trois observations à la mer, les 27 octobre, 6 et 7 novembre. La première entre la lune et λ Sagittaire à 1°20' ; la deuxième entre la lune et η des Pléiades à 1°16' et la troisième entre la lune et β Taureau à 6°. L'atterrissage n'eut lieu que le 10, mais ce qu'il fallait surtout prouver, c'était la possibilité de l'emploi de l'instrument à la mer par temps maniable ; et il parut assez commode. Le 4 août 1767, Messier, sur l'*Aurore*, prit la distance de la lune au Cœur du Scorpion. Il trouva que les mouvements du navire rendaient l'observation difficile ; mais Charnières, plus tard, améliora le pied. L'observation, comparée à une correspondante de Lemonnier, montra que la distance avait été observée à 38" près.

Pendant le voyage de Verdun, l'astronome Mersais se servit

beaucoup du mégamètre et il put le faire « avec assez de facilité, dit-il, même par mer médiocrement agitée ». Mais le rapport de la Commission ne fut pas en faveur de l'instrument. Le mégamètre, y disait-on, ne permet de prendre que de petites distances et de nuit seulement, et il n'y avait pas toujours d'étoiles brillantes et bien placées. D'autre part, l'angle horaire correspondant à une observation avec cet instrument ne pouvait être calculé que par une hauteur d'étoile, élément plus incertain qu'une hauteur de soleil. Enfin, si on pouvait mesurer au mégamètre les distances avec une approximation deux fois supérieure à celle d'une mesure au sextant, à 15" au lieu de 30", cet avantage était plus que détruit par les erreurs inhérentes, surtout alors, à la réduction des petites distances. L'erreur sur la latitude de la lune en particulier ne donnait aucune erreur sur le calcul des grandes distances, tandis qu'elle pouvait en causer une très forte sur celui des petites. En fin de compte, le résultat de l'observation au mégamètre pouvait être deux fois plus erroné que celui qu'on obtenait avec l'octant. Ajoutons que si l'on se bornait au cas favorable où l'astre est situé sur la direction de la route de la lune dans le ciel, il pouvait y avoir des lunaisons entières sans qu'on trouvât une seule occasion de se servir du mégamètre.

Rochon s'était aussi exercé dans le même sens que Charnières, et comme il était quelquefois de méchante humeur, il chercha à se faire attribuer l'idée de l'instrument de ce dernier. Il prétendait avoir écrit en 1766 un mémoire contenant les principes des instruments à réfraction pour la mesure des angles et, en particulier, ce qui a rapport aux mégamètres. Il consulta même Borda sur l'opportunité qu'il y aurait pour lui à soulever la question de priorité. Mais Borda lui répondit de n'en rien faire, l'idée qu'il revendiquait pouvant être venue à plusieurs à la fois. Les instruments qu'il imagina, et qu'il paraît du reste n'avoir jamais fait construire, étaient en général très différents de celui de Charnières. En 1767, il proposa de placer des prismes de verre de France au-devant de l'objectif de l'héliomètre de Bouguer. En les faisant tourner sur eux-mêmes ils permettaient de mesurer

des angles de 0 à 20°. Il pensa aussi, dit-il, à la disposition de Charnières, mais il calcula que pour une distance focale de 3 pieds (0 m. 97), on ne pouvait dépasser alors des angles de 9°36', ce qui lui parut insuffisant. Enfin il fit remarquer qu'en plaçant devant l'un des objectifs de l'héliomètre des prismes donnant des déviations de 6, 12, 18°, on pouvait construire un mégamètre d'emploi plus étendu que celui de Charnières, le contact des images déviées y étant achevé par le déplacement des lentilles formant les demi-objectifs. Il décrivit encore un « astromètre » qui n'était que le quart de cercle ordinaire à deux lunettes (celui dont se servait Chabert, en 1750, en Acadie, pour prendre des distances lunaires à terre), dans lequel on renversait les lunettes de manière à mettre les oculaires au centre de l'arc, au lieu de les mettre du côté du limbe et inversement pour les objectifs. En plaçant un œil à chaque oculaire, on pourrait, disait-il, observer les deux astres à la fois. Mais ce n'étaient là que de pures indications et toutes ces propositions étaient insuffisamment étudiées.

III. — LES MÉTHODES D'OBSERVATION

Quels étaient les meilleurs moyens de situer la lune sur la sphère des étoiles ? *A priori*, on pouvait y parvenir par un grand nombre de méthodes. Quelques-unes même ne nécessitaient pas d'instrument spécial. C'est ainsi qu'on avait pensé à observer l'instant où le Terminateur coupe le disque de la lune en deux portions égales ; mais on pouvait alors, par suite d'une mauvaise appréciation, commettre une erreur de 15°. Langrenus, en 1634, reçut 1.200 écus de Philippe IV pour avoir imaginé l'observation de l'instant où les bords des cirques lunaires commençaient à être éclairés, moyen auquel Hevelius substitua l'instant de la fin de leur éclairement. Saint-Jacques de Silvabelle, directeur de l'observatoire de Marseille, pensa à noter le temps qui s'écoulait entre les levers ou couchers du soleil et de la lune ; observation d'où on tirait sans autre mesure la différence des ascensions droites des astres, d'où on pouvait déduire l'ascension droite de la lune. Morin avait indiqué beaucoup d'autres méthodes, dont quelques-unes furent essayées de bonne heure. Le 19 mai 1725, Radouay, dans l'Atlantique nord, trouva que la variation de son compas était de 13°. Il aligna alors le fil des pinnules de sa boussole « à 13° de la fleur de lys » et il observa de cette manière l'instant du passage de la lune au méridien. Il avait réglé sa montre au coucher du soleil. Le temps vrai du passage comparé à celui du passage à Paris, le même jour, lui donna le chemin parcouru par la lune par rapport au soleil entre ses passages au méridien de Paris et au méridien du lieu, et il en conclut sa longitude. Radouay, on le voit, était tenace. Mais si sa méthode était excellente à terre, dans un observatoire, sa précision,

dans les conditions où il observait, était évidemment illusoire. Aussi attendait-il avec impatience le résultat des travaux de Sully. Une autre méthode, analogue à la précédente, consistait à observer le passage de la lune par un vertical quelconque. Coubard, hydrographe de Brest, et Lemonnier, en 1766, proposèrent de prendre la hauteur de la lune au moment de son passage par le vertical d'une étoile, sans dire, du reste, comment on devait faire l'observation. L'heure locale étant connue, on en déduisait l'azimut de l'étoile, donc celui de la lune. Avec cet azimut, la hauteur de la lune et la latitude du lieu, on pouvait ensuite conclure l'angle horaire du satellite et, par suite, la longitude du navire. Le procédé dispensait de l'emploi de la déclinaison de la lune. Tout cela n'était pas heureux.

On constate assez fréquemment que les navigateurs observaient des éclipses de lune. Le 16 juin 1685, les jésuites de l'ambassade au Siam, étant dans l'Océan Indien, à 400 ou 500 lieues du Cap de Bonne-Espérance, par 37°45' de latitude sud, observèrent une telle éclipse, mais l'agitation du vaisseau ne leur permit pas de noter avec leur lunette d'approche les temps des passages de l'ombre sur les « taches » de la lune. La *Connaissance des Temps* donnait, en effet, une carte des accidents de la topographie lunaire pour permettre de noter les instants de l'entrée des cirques dans le cône d'ombre et de leur sortie. En 1751, le 8 juin, vers minuit, Chabert détermina sa longitude à la mer par une autre éclipse de lune, et, comme il était en vue de terre, il put apprécier l'approximation qu'il obtint. Il trouva une erreur de 54' seulement, ce qui était certainement mieux que ce qu'on pouvait attendre de l'observation à cette époque. C'est encore une éclipse de lune qui, le 13 décembre 1750, indiqua à La Caille et à d'Après, à bord du *Glorieux*, qu'ils étaient à l'ouest des îles du Cap-Vert, alors qu'ils s'en croyaient à l'est. Un peu plus tard on relève, dans les journaux de bord, des observations de tels phénomènes, faites cette fois par des marins non spécialisés en astronomie. Telles sont celles de l'éclipse du 29 février 1782, sur la flotte partie de Brest le 11 du même mois et destinée à apporter des renforts à

Suffren ; celle de l'éclipse du 7 mars 1784, observée cette fois dans l'escadre même de Suffren, qui était alors dans l'Atlantique nord, faisant route pour entrer dans le détroit de Gibraltar. Les circonstances qui accompagnaient l'observation de la première nous sont rapportées dans les notes manuscrites de Tersac. Cet officier écrit « qu'on aura de la peine à croire que ni le capitaine, ni aucun officier » du bâtiment sur lequel il se trouvait « ne croyait que cela pût être d'aucune utilité pour déterminer le méridien », ce qui prouve que les marins n'étaient pas encore, en général, bien confiants dans les procédés astronomiques. Il eut de la peine à les décider à faire l'observation. Elle leur donna une différence de 3° entre la longitude conclue de l'éclipse et la longitude estimée. Les erreurs du procédé ne montaient certainement pas à une aussi forte valeur. Quinze ans auparavant, Courtanvaux fixait cette erreur à 1° provenant d'une erreur de 2 minutes sur l'appréciation de l'instant de l'immersion ou de l'émersion et d'une seconde erreur égale, due à l'imperfection des tables lunaires. Mais les éclipses ne sont pas fréquentes. En quatre ans, en effet, il n'y a eu que deux à trois éclipses totales de lune, et là-dessus la moitié seulement sont visibles sur l'horizon d'un lieu.

C'est vers le milieu du XVIIIe siècle que furent proposées, parmi toutes les méthodes logiquement possibles, celles sur lesquelles devaient porter les dernières discussions. Voici d'abord la méthode proposée par Bouguer en 1753, dans son *Traité de Navigation*. Elle est compliquée, étant donné qu'il s'agissait d'une observation sur un bâtiment à la mer. Elle était basée sur trois groupes de hauteurs correspondantes dont deux étaient destinés à donner le temps vrai de deux passages successifs du soleil au méridien supérieur et le troisième le temps du passage intermédiaire de la lune. Les observations du soleil avaient pour but de régler une bonne montre et de trouver sa marche que Bouguer, dans un exemple, évalue à 36 secondes en 24 heures. Dès lors on pouvait en conclure la valeur de l'ascension droite de la lune à l'instant de son passage et avoir le temps correspondant du premier méridien. Même, si les éphémérides contenaient

les heures temps vrai des passages de la lune au méridien origine et leur variation pour une heure de longitude, on était dispensé du calcul de l'ascension droite de cet astre. On voit que l'observation s'étendait sur une trentaine d'heures pendant lesquelles, disait La Caille, le temps devait rester beau. D'autre part, ajoutait-il, on ne pouvait être sûr de la montre ordinaire pendant une durée de 30 heures et la route parcourue par le navire dans cet intervalle de temps devait compliquer singulièrement le calcul. Enfin, les circonstances à réunir pour rendre l'observation possible seraient rarement réalisées, de telle sorte que la méthode ne pouvait pas être souvent praticable.

On doit à Lemonnier un autre procédé qui eut plus de partisans que celui de Bouguer. Leadbetter, contemporain et disciple de Newton, y avait déjà pensé, paraît-il. Lemonnier en eut l'idée à son retour de Laponie, et c'est lui qui, plus tard, inspira Pingré lorsque ce dernier devint le propagateur de la méthode. Celui-ci, qui désirait être reçu à l'Académie, avait commencé, en 1754, la publication d'un *Etat du Ciel*, destiné spécialement à l'usage de la Marine et dédié à l'Académie de Marine ; et, en 1755, il le calcula en vue de faciliter l'application de la méthde de Lemonnier. Cet *Etat du Ciel* ressemblait, dans ses dispositions générales, à la *Connaissance des Temps*. Il contenait des calculs des positions du soleil et de la lune, faites avec tout le soin possible. Pingré se basa sur les formules des *Institutions astronomiques* de Lemonnier et aussi sur les tables de Halley qu'il suivit pour les planètes. Pour la lune, il donnait la longitude, la latitude, la déclinaison et l'angle horaire à Paris, à midi et à minuit ; les temps des passages aux méridiens supérieur et inférieur; le demi-diamètre et son accourcissement avec la hauteur et la parallaxe. Enfin, ses distances à l'apogée de son orbite et au soleil. Ces derniers éléments, expliquait-il, étaient nécessaires pour trouver l'erreur des tables suivant la méthode du saros d'Halley et Lemonnier, car ce procédé imposait de s'assurer que ces distances étaient les mêmes à peu près aux deux bouts de la période particulière de 18 ans 11 jours utilisée. Mais Pingré cessa de calculer l'*Etat du Ciel* en

1758, le libraire refusant de l'imprimer à l'avenir parce qu'il ne trouvait aucun bénéfice dans le débit de l'ouvrage.

La méthode de Pingré comportait : 1° la mesure de la hauteur méridienne de la lune, suivie 2° de l'observation de la latitude du lieu, éléments d'où on déduisait la déclinaison de la lune. en transportant la latitude observée au moment du passage de celle-ci ; 3° avant ou après le passage de la lune au méridien une observation de hauteur de la lune avec laquelle, connaissant la latitude et sa déclinaison, on calculait son angle horaire. En comparant cet angle horaire à celui que donnait l'*Etat du Ciel* pour Paris à la même heure locale, on pouvait en déduire la longitude. Il fallait naturellement compléter ces opérations par un calcul d'heure. Un cas particulier de cette méthode consistait à observer l'heure du lever ou du coucher de la lune, car alors sa hauteur était connue. Pingré pensait que le moyen qu'il indiquait était « l'unique voie qu'on devait suivre si l'on n'avait pas envie de s'égarer ». « Quelles épines de calcul dans toutes les autres méthodes » ajoutait-il ; réflexion vraie, car il est certain que dans la sienne les calculs étaient les plus simples, les plus faciles et les plus habituels de ceux qu'on pouvait imaginer ; et il paraît que « les marins étaient, en fait de calculs, au-dessous de l'habileté » nécessaire aux autres méthodes. Mais le calcul n'est ici qu'un accessoire. Il fallait avant tout examiner les conditions dans lesquelles étaient faites les observations et les erreurs sur le résultat provenant des éléments qu'elles fournissaient.

C'est ce que fit La Caille dans un mémoire de 1759, qui est capital pour la question qui nous occupe. Le grand astronome avait étudié à fond le problème au cours de son voyage au Cap. En 1753, déjà, il avait envoyé à l'Académie un projet de discours relatif à la longitude à la mer, travail qu'il avait écrit à l'Ile-de-France, où il était allé, après l'achèvement de sa mission au Cap. pour en déterminer les coordonnées géographiques. Enfin, dans l'introduction à ses *Ephémérides* de 1755 à 1764, il avait donné la méthode à laquelle il se ralliait, et c'était celle des distances, déjà proposée par Halley, disait-il, lequel, comme La Caille,

avait acquis, également au cours de ses voyages maritimes, la conviction que c'était la seule vraiment praticable à la mer. Mais revenons au mémoire de 1759. La Caille y étudie d'abord la précision dont l'octant est susceptible. De 1750 à 1754, il trouva par expérience qu'avec un bon quartier de réflexion de 20 pouces (54 cm.) de rayon, on ne pouvait répondre de la quantité d'un arc céleste qu'à 4' près, se décomposant en 1' pour l'erreur de graduation, 0',5 pour l'erreur de lecture et 1' pour l'erreur de contact, avec un grossissement égal à 3, les deux dernières étant répétées au parallélisme. Il estime d'autre part que la hauteur méridienne n'est sûre qu'à 3'. Comme, dans la méthode de Pingré, la latitude employée pour le calcul de l'angle horaire de la lune est déduite de la latitude méridienne observée 2, 3 ou 4 heures avant ou après le passage de la lune, il évaluait à 4' l'erreur sur la latitude employée dans ce calcul d'angle horaire. Il fait aussi remarquer que la hauteur de la lune est difficile à observer la nuit avec précision, ce qui est une source de grosses erreurs, et que la méthode est impossible à pratiquer quand la lune passe au méridien plus de 2 heures avant le coucher du soleil ou moins de 2 heures avant son lever, car sa lumière est alors trop faible. Enfin il ajoute qu'il faut encore des observations séparées par quelques heures, ce qui suppose des circonstances atmosphériques favorables. Et La Caille donne comme conclusion un tableau dans lequel sont évaluées les erreurs sur la longitude qui résultent de différentes valeurs de la latitude du navire, de la déclinaison et de l'angle horaire de la lune en portant à 2' l'incertitude sur la déclinaison de la lune, à 4' celle de la latitude et à 4' également celle de la hauteur. Il y adjoint une erreur de 2' sur l'ascension droite de la lune donnée par les tables : élément qui intervient pour la comparaison finale des angles horaires. A Paris et dans le lieu, il suppose que l'erreur sur l'angle horaire entraîne seulement une erreur de 8' sur la longitude. Il trouve dans ces conditions que l'erreur moyenne du résultat, relative à des latitudes de 0°, 30° et 60°, est de 97 lieues, et que par 60° de latitude, pour une valeur de la déclinaison de la lune égale à zéro et une

valeur de l'angle horaire égale à 30°, la longitude trouvée peut être erronée de 190 lieues. Il est vrai, ajoute-t-il, qu'en faisant des observations de la lune à l'est puis à l'ouest, on peut améliorer le résultat ; mais la méthode perd alors toute possibilité, car elle devient impraticable, il y a trop de choses à réunir pour la faire réussir.

La meilleure méthode, selon lui, est celle qui a besoin du plus petit nombre d'observations précises. Or telle est celle des distances de la lune à un astre, car elle n'exige qu'une seule observation faite avec soin (1). La distance étant prise à 4' près, cela fait sur la longitude une erreur de 108' seulement. D'autre part, si les hauteurs ne sont exactes qu'à 7 ou 8', il n'en résulte qu'une inexactitude de 15' sur le résultat dernier. Puis 2' d'erreur sur les tables lunaires font ajouter 54' à ces 15' et 108'. Au total, on a ainsi sur le parallèle de 30° une erreur maximum de 52 lieues (30 lieues seulement par 60° de latitude), qu'on ramènera aisément à 25 ou 30 en prenant plusieurs distances avec des instruments également bons. La méthode est donc trois fois plus précise que celle qui emploie la hauteur pour la détermination de l'angle horaire. Plus La Caille y réfléchit, et plus cette méthode des distances lui paraît devoir s'imposer. Aussi concluait-il en disant qu'il comptait « être parvenu au point qu'il ne paraissait guère possible de trouver des moyens plus simples et plus sûrs de déterminer la longitude sur mer par les observations de la lune », paroles prophétiques qui décidaient la question et que l'avenir devait sanctionner.

Les méthodes lunaires furent utilisées ou éprouvées à la mer dès 1749, pendant le voyage de d'Après aux Côtes occidentales d'Afrique. Cet officier de la Compagnie des Indes fut alors sans doute le premier navigateur français à s'en servir. Lalande, très attaché à ses élèves et à sa gloire, paraît attribuer à Véron l'honneur de ces tentatives initiales, qui devaient avoir de si

(1) On n'avait pas besoin de la déclinaison de la lune.

grandes conséquences pour la navigation et la géographie, et il écrivait que « ce pauvre pilotin Véron », par l'impulsion qu'il avait donnée à l'astronomie nautique et les leçons que lui devait Charnières « avait acquitté à lui seul envers la France tout ce que la chaire d'astronomie au Collège Royal avait coûté ». Véron fut peut-être toutefois le premier de la Marine « royale » à faire des distances lunaires, mais beaucoup d'officiers de la Compagnie des Indes en avaient observées avant 1765, année où il prit du service.

Dans son *Neptune oriental* de 1775, d'Après dit qu'il avait toujours suivi la méthode avec succès, et nous savons que sur le *Glorieux*, il se servait pour le calcul des tables de Halley et surtout de celles de Lemonnier, en ayant égard à la période du saros pour évaluer leurs erreurs.

Le passage de Vénus en 1761 fut l'occasion de nombreux voyages astronomiques, dont on profita pour observer des longitudes à la mer, et il se trouva que ces essais, qui imposèrent peu à peu la méthode des distances, eurent lieu dans l'Atlantique sud et la Mer des Indes, tandis que les voyages chronométriques ont été effectués dans l'Atlantique nord. Pingré partit pour Rodrigue. Son voyage n'a jamais été publié, mais le manuscrit en est conservé au Dépôt des Cartes de la Marine. A l'aller il ne fit pour ainsi dire que des distances lunaires, suivant la méthode de La Caille, et non des angles horaires, comme on pourrait s'y attendre. Il les faisait observer par des officiers du bâtiment qui l'emportait « parce qu'ils étaient plus entraînés que lui à l'usage de l'octant ». Ces officiers s'appelaient Gaudrion, Croiset et Marion, noms qu'on retrouve ailleurs. Marion en particulier avait été lieutenant de d'Après et il déclarait que celui-ci s'était trompé quelquefois très grossièrement par les distances. Mais il n'avait pas de bonnes tables. Leur première observation est du 29 janvier 1761, par 16°,5 de latitude nord. Ils se servaient des tables de Mayer que la *Connaissance des Temps* utilisait depuis 1760 et ils avaient confiance dans les résultats qu'ils obtenaient. Pingré estima l'erreur de leur premier calcul à 2°. Le

8 février, une nouvelle détermination parut meilleure. Et à la fin de ce même mois, ils trouvaient que les observations leur montraient des erreurs de 6 à 7° dans l'estime. Leur loch n'était que de 45 pieds au lieu de 47,5 et Pingré s'était déjà aperçu que leur estime était très en défaut.

Ces traversées étaient très longues et la vie de bord y devenait monotone et fatigante. Sur le bateau de Pingré, on discuta par amusement, mais avec discours en bonne forme, la question de savoir s'il valait mieux être comme eux sur un vaisseau au milieu de l'Atlantique, ou bien prisonnier à la Bastille, et les avis furent partagés. Le 12 mars, ils prirent leur dernière distance, mais le 27 ils firent une observation d'angle horaire de la lune qui leur signala une erreur de 5° de l'estime. Ensuite ils n'observèrent plus. Après avoir eu la sonde du Banc des Aiguilles, sur lequel ils chantèrent un *Te Deum*, « tribut que l'on devait à Dieu quand on avait passé le Cap », ils rencontrèrent le vaisseau *Le Lys* avec lequel ils durent marcher de conserve, et qui, étant mauvais marcheur, les retarda beaucoup, ce qui « dégoûta » Pingré des observations, dit-il, car il put craindre de ne pas arriver à temps. Le 27 mai, ils atterrirent enfin à Rodrigue et Pingré estimait en résumé que « les calculs n'avaient pas mal réussi ». Marion toutefois les trouvait au-dessus de la portée des marins. Rodrigue n'était alors habitée que par quelques noirs et un officier. Le 6 juin, jour du passage de Vénus, il plut dans la matinée. Puis le temps s'arrangea, mais Vénus était déjà sur le disque et Pingré ne put observer que le deuxième contact intérieur. A son retour en France, il observa exclusivement des angles horaires. Par leur moyen, entre autres, il atterrit à 2° à l'Ascension et il trouva qu'en général il avait obtenu cette approximation. « La méthode, disait-il, valait donc celle de La Caille. »

Le Gentil de la Galaisière était parti de Lorient le 26 mars 1760 pour aller observer le même passage à Pondichéry. Il arriva le 10 juillet à l'Ile-de-France, faisant beaucoup d'observations de hauteurs de lune à la mer pour en conclure la longitude par la méthode de Pingré, et il dit avoir atterri grâce à elle à Rodrigue

à 5 ou 6 lieues près. Mais cette exactitude ne pouvait être due qu'à un heureux concours de circonstances. On connaît ses extraordinaires tribulations. A l'Ile-de-France, on lui dit que la guerre était très vive, mais comme Pingré devait se trouver à Rodrigue, il essaya quand même d'atteindre Pondichéry et il s'embarqua le 11 mars à cet effet. Son bâtiment fut porté hors de la route commune jusqu'à Socotora par des vents défavorables, et, quand il put atteindre Mahé et Ceylan, ce fut pour y apprendre que Pondichéry venait de tomber entre les mains des Anglais. Dès lors il fut obligé de revenir sur ses pas. Le 6 juin, jour du passage, par 5°45' de latitude sud et 87°15' de longitude, il observa en mer l'entrée de Vénus sur le disque du soleil et sa sortie. Il arriva ensuite de nouveau à l'Ile-de-France le 23 juin. Pour se dédommager, il attendit dans l'Océan indien et la Mer de Chine le passage de 1769. Il alla à Madagascar et jusqu'aux Philippines. Le 27 mars 1769, il arriva enfin à Pondichéry pour se préparer à l'observation qu'il attendait depuis si longtemps. Pendant tout le mois de mai et jusqu'au 3 juin les matinées furent très belles, mais le jour du passage, un coup de vent, qui eut juste la durée du phénomène, lui interdit toute observation. Les jours suivants, le ciel fut de nouveau serein. « J'avais fait 10.000 lieues, dit-il, sans autre commentaire, pour être spectateur d'un nuage fatal. » Il ne devait se retrouver sur la terre d'Europe, à Cadix, que le 1er août 1771. C'est de là qu'il rallia Paris par terre, car « il ne voulait plus se rembarquer ». Sa conclusion sur la méthode des angles horaires était favorable à Pingré. Il écrivit en effet qu'il n'était pas de l'avis de La Caille sur cette méthode, mais c'est qu'il en usa surtout à terre où les conditions de son utilisation sont bien meilleures qu'à la mer.

Il nous reste à parler d'un autre voyage où les observations de distances à la mer eurent des résultats durables et importants pour la navigation. Nous avons vu que la route classique des côtes d'Europe au cap de Bonne-Espérance avait été suivie dès les premières navigations vers les Indes orientales. Par contre, la route des Mascareignes au golfe du Bengale n'était pas encore

fixée à l'époque dont nous nous occupons. Cela tenait au régime des vents de la mer des Indes et à la topographie sous-marine de cet océan. En hiver, la mousson de N.-E. y souffle dans les golfes du Bengale et d'Oman. Mais les brises hâlent le nord quand on se rapproche de l'Equateur et elles finissent par être N.-O. entre les latitudes 0 et 5° sud pour mourir dans une zone de calmes où vient aussi s'éteindre, vers le parallèle de 8°, l'alisé de S.-E. En été cet alisé remonte au contraire jusque vers l'équateur, puis il s'infléchit pour se prolonger plus au nord par la mousson de S.-O. D'autre part, les navigateurs redoutaient beaucoup, et s'exagéraient, les écueils et hauts fonds qui s'étendent sur une large zone au nord des Mascareignes, jusqu'aux Seychelles. Dès lors les bâtiments qui quittaient l'Ile-de-France, « arsenal de nos forces et entrepôt de notre commerce dans l'Inde », pour la côte de Coromandel, suivaient deux routes suivant la saison. En été, ils faisaient d'abord route pour prendre connaissance de la côte nord de Madagascar, puis ils allaient rejoindre l'équateur près de la côte d'Afrique et revenaient alors seulement à l'est. En hiver, ils commençaient d'abord par faire du sud jusque vers les latitudes de 38 à 40° ; puis, à la faveur des brises d'ouest, ils s'élevaient sur ces parallèles jusqu'au méridien de 80 ou 90° et ce n'est qu'à ce moment qu'ils pouvaient enfin faire route au nord pour donner dans le golfe du Bengale. Cette route était très longue. D'Aché, chargé de conduire Lally-Tollendal dans l'Inde, mit 103 jours, dans l'hiver de 1758, à aller, en prenant cet itinéraire, de la Réunion à Karikal. Or il existait une route plus courte que ces deux dernières. Elle consistait à s'élever au nord dès le départ jusqu'à la hauteur des passes des Maldives, au nord de l'équateur, en été ; jusqu'au parallèle de 5° sud seulement en hiver, et de profiter alors des brises d'ouest pour faire route à l'est. De cette manière la route d'été était raccourcie de 320 lieues et celle d'hiver de 800, gains énormes puisque les bâtiments de Suffren firent 26 lieues en moyenne par jour. Mais pour suivre ces routes il fallait reconnaître les récifs au sud des Seychelles où il y avait 300 lieues à faire au milieu d'un archipel inconnu, puis s'assurer

que sur le parallèle de 5° sud ne se trouvait aucun danger, depuis les Seychelles jusqu'au méridien de 90° est.

L'idée de cette vérification vint à l'enseigne de vaisseau Grenier, né en 1736, à Saint-Pierre de la Martinique, et nommé en 1767 au commandement de la corvette du roi l'*Heure-du-Berger*, destinée au service des îles de France et de Bourbon. Cette navigation « ne lui offrant qu'une carrière fort limitée et peu propre à satisfaire sa curiosité et à l'instruire de l'état des mers de l'Inde », il demanda au ministre « l'agrément de faire des observations et des découvertes dans ces mers ». Pour réaliser son plan, il avait besoin de pouvoir rapporter ses observations à un lieu précis, faute de quoi elles eussent été inutiles ; et pour cela il lui fallait de bonnes longitudes, car sans elles on ne pouvait entreprendre rien de fructueux en fait de descriptions des mers. Il demanda donc qu'un astronome et un dessinateur hydrographe lui soient adjoints. A la vérité, Grenier savait que sa route n'était pas absolument originale. Le Hollandais Volphaert Harmanzen, parti de l'Ile de France le 20 octobre 1601, l'avait choisie. Les Portugais aussi l'avaient parcourue autrefois, comme étant la plus naturelle, et l'amiral anglais Boscawen avait fait à peu près de même, en 1748, avec une flotte de 26 voiles. Enfin d'Après, en 1754, avait suivi leur exemple. Grenier se proposait donc seulement de la bien reconnaître. De plus, le parallèle de 5° avait déjà été parcouru sur une longueur de 400 lieues à partir des Seychelles, par un navigateur nommé Picault, envoyé dans ces îles en 1744 par La Bourdonnais. Enfin Surville, commandant le *Duc-d'Orléans*, avait confirmé les observations de Picault. Il restait alors à Grenier à prolonger ce parallèle à l'est jusque vers la longitude de 87 à 88°.

Rochon fut choisi comme astronome de l'expédition. Il s'embarqua à Lorient sur la flûte la *Normande*, commandée par son parent et ami Tromelin. Ils partirent le 19 mars 1768, touchèrent à Cadix, quittèrent ce port le 12 avril et arrivèrent le 13 juillet à l'Ile de France. Le 30 mai 1769, Grenier l'emmena sur l'*Heure-du-Berger*, suivie du *Vert-Galand*. Rochon avait un quart de

cercle, une pendule astronomique, un sextant de Ramsden et une lunette achromatique (1). Le 6 août, ils arrivèrent à Pondichéry, d'où ils repartirent le 23 pour atteindre le parallèle de 5° sud, par une longitude de 90°, point où ils arrivèrent le 16 septembre. Rochon observait des distances lunaires. Le 9 une distance de la lune au soleil lui indiqua une erreur de l'estime de 120 lieues (6°). Arrivés au point indiqué, ils n'avaient plus qu'à parcourir le parallèle de 5° jusqu'à la longitude de 66°, et, comme ils n'y trouvèrent aucun danger, Grenier jugea qu'il avait gagné sa cause. Elle l'était en effet. Suffren suivit sa route du 6 décembre 1781 au 6 février 1782, raccourcissant ainsi de plus d'un mois la durée de la traversée d'hiver. Le 6 octobre, les deux petits navires étaient de nouveau à l'Ile de France. Rochon repartit le 1er janvier 1770 et son retour, dit-il, « offrit la preuve de l'utilité des distances pour la sécurité de la navigation. » Pour convaincre les officiers de leur efficacité, il dirigea par exemple, par leur moyen, la route du Cap à l'Ascension et démontra dans cette traversée que la méthode permettait d'atterrir à l'aire de vent, sans avoir besoin de se placer à 5 ou 6° au vent sur le parallèle du lieu d'arrivée. Ils purent ainsi franchir en 24 jours les 800 lieues qui séparent l'Afrique du sud de l'Ascension, en prenant la route « la plus directe », ce qui était une très grande nouveauté.

Rochon, toutefois, n'était pas convaincu de l'absence de tout danger sur le parallèle de 5°. Il y avait un point de ce parallèle, vers la longitude de 70°, qui l'inquiétait beaucoup. On y avait signalé des écueils et Rochon avoue que dans ces parages, il fit dévier vers le nord la route donnée par Grenier à l'insu de celui-ci. Mais, si on en croit d'Après, ces roches, qu'on nommait les Adu, étaient en réalité par 5°20' de latitude sud.

Leur découverte est liée à un drame de la mer qui éclaire d'un vilain jour les rudes mœurs qu'on prenait alors au dur métier de marin. Sur les bâtiments de Grenier se trouvait un certain Moreau,

---

(1) Le 13 juin, ils observèrent aux Seychelles une émersion du premier satellite de Jupiter.

« ancien capitaine des vaisseaux de côte de la Compagnie », qui était le seul, en 1770, à avoir eu connaissance de ces îles. En 1757, il avait été envoyé en mission dans l'Inde et on lit effectivement dans son journal de bord, pour la journée du 25 au 26 mars, la relation suivante de la découverte : « Vu des goulettes blanches tout l'après-midi ; hier, à 6 heures du soir, vu le fond sans voir la terre. Sondé. Le plomb ramène un petit poisson rouge tout vivant, de petites écrevisses et des coquillages. Vent au N.-O. Ce matin, à 6 heures, vu la terre au N.-N.-O. A 7 h. 30, autre terre dans le S.-S.-E. Mer très belle. Nous avons mis le canot à la mer... » Dans ce canot, d'après Rochon, qui avait vu Rivière, dont il va être question, et Mannevillette, qui donnent à peu de chose près le même récit, Moreau envoyait à terre son lieutenant Rivière avec trois blancs et cinq lascars, afin de prendre possession des îles nouvelles. Rivière contourna une île pour chercher un point d'atterrissage, mais lorsqu'il revit le bot (navire de la mer des Indes) le *Favori*, ce bâtiment s'éloignait et disparaissait à l'horizon. Moreau, sous prétexte, dira-t-il plus tard, qu'il était sous-venté et que sa mission était urgente, les avait abandonnés. Les malheureux se nourrirent de poissons et d'oiseaux de mer. Comme boisson, ils n'avaient que le suc des noix de cocos de l'atoll. Au bout de trois mois, comme il leur devenait difficile de pourvoir à leur subsistance, ils prirent la résolution de quitter leur désert avec leur embarcation. Ils entassèrent des cocos sur un radeau à la remorque, mais ce radeau chavira bientôt et alors ce fut le dénuement complet. Deux seulement survécurent, dont Rivière, qu'on trouva sans connaissance sur la côte de Malabar.

Rochon ne manqua pas d'observer des distances lunaires pour fixer la position des Adu. Il calcula leur longitude « quand il s'estima dans leurs parages » et trouva 72° ; ce qui ne correspond à rien. Le point qui se rapproche le plus des coordonnées ci-dessus, est la basse « Speaker », au nord des Chagos, que le vaisseau anglais du même nom découvrit en 1763, et dont il détermina la position exacte par des distances.

Dans le voyage de Fleurieu, on ne s'inquiéta pas beaucoup de

notre satellite. Le 25 avril 1769, ils observèrent une hauteur lunaire. Les 15 et 16 juillet, ils prirent, au moyen d'un octant à pinnule, les distances de la lune à l'Epi et à Antarès. Les erreurs, dans les trois cas, furent de 1° environ. Fleurieu ne prit d'ailleurs parti pour aucune méthode, parce que « des considérations particulières lui interdisaient de dire ce qu'il en pensait et de porter un jugement ». Il souhaitait seulement qu'on les perfectionnât toutes. (Rappelons que Pingré était du voyage.)

On fit davantage sur la *Flore*. Le 29 octobre 1771, sept distances donnèrent la longitude à 18'40" près. Le 28 avril 1772 on détermina la longitude de Port-Saint-Pierre par 22 distances à Régulus ; et à Patrixfjord, les commissaires prirent, les 6 et 7 juillet, des distances luni-solaires. Lemonnier, à Saint-Sever en Normandie, observa précisément le soleil et la lune ces jours-là, le 6 même, la lune presque en même temps qu'eux. Les erreurs des tables de Mayer dont ils se servaient furent de 34",4 et 47",8. Dans leurs conclusions ils donnèrent leurs préférences aux méthodes de La Caille, et on doit remarquer que la relation est en grande partie l'ouvrage de Pingré. Une de leurs raisons, c'est qu'il faut déterminer le temps local au moment de l'observation. Pour cela, il est nécessaire de prendre une hauteur de soleil ou d'étoile, c'est-à-dire d'avoir toujours un astre et la lune sur l'horizon ; donc l'observation de la distance du second astre à la lune est toujours possible et autant vaut-il alors l'employer. Ils estimaient à 1' l'erreur sur une hauteur de soleil, ce qui ne donnait vers le cercle polaire que 10 à 12^s d'erreur sur le temps local. L'erreur sur les distances leur parut inférieure à 1', et celle des tables également. Donc la méthode devait donner la longitude à 1° près. Nous sommes en 1772. On se souvient qu'en 1759 (13 ans auparavant), La Caille évaluait cette erreur à 2° environ.

IV. — Les Procédés de Calcul

La méthode de Pingré ne présentait rien de spécial. Ce n'était qu'un calcul d'angle horaire, et nous ne nous en occuperons pas. Au contraire, la réduction de la distance de la lune à un astre posait un problème particulier, le plus compliqué de tous les problèmes de la navigation astronomique. Il en est résulté d'abord la recherche d'un nombre considérable de méthodes, — chaque auteur tenant la sienne pour la plus simple, alors qu'elle n'était en général que celle à laquelle il était le plus habitué, — destinées à faciliter le calcul en question ; ensuite la nécessité de développer la culture et l'instruction des navigateurs, le problème n'étant pas de ceux qui peuvent se résoudre par de simples recettes, mais nécessitant de la réflexion.

Il se décompose en trois parties qui doivent être traitées indépendamment les unes des autres. En premier lieu, il faut prédire les distances vraies du centre de la lune à un astre donné, pour les temps du premier méridien. A cela, les coordonnées équatoriales ou écliptiques de la lune et des astres utilisés sont nécessaires et suffisantes. D'autre part, il faut, de la distance mesurée, conclure la distance vraie au centre de la terre afin d'en déduire, par comparaison avec les distances calculées à l'avance, l'heure du méridien origine à laquelle elle correspond. Pour cette opération, il était inutile, étant donnée la précision que l'on pouvait obtenir au XVIIIe siècle, de s'inquiéter de l'ellipticité de la terre. L'erreur qui en résulte est en effet égale à 6' au maximum pour la lune moyenne. Aussi, si on en croit Ledieu, les marins ne s'en préoccupaient pas encore en 1773. Cependant, Borda, dans les descriptions de son cercle, calcule laborieusement cette correction. Il est même

curieux qu'il n'ait pas songé à faire ce calcul en utilisant le zénith des parallaxes, ce qui le simplifie beaucoup. Or, cette méthode, due à Clairaut, avait été largement appliquée par Mayer.

Voici, en tout cas, le principe de la détermination de la distance vraie quand on suppose la terre sphérique. Soit L la position vraie de la lune (fig. 32). OS la direction allant de l'observateur au second astre. S la perspective du second astre sur la sphère de centre O et de rayon OL. Les astres sont relevés par la réfraction sur les verticaux ZL et ZS, en l et s. Donc l'observateur en O mesure l'angle lOs. Joignons le centre T de la terre à la lune et à l'astre. Soit TS_1 la ligne allant de T à l'astre. L'angle au centre de la terre est LTS_1. Le problème consiste à passer de lOs à LTS_1. Menons Ol_1 parallèle à TL et Os_1 parallèle à TS_1 ; Ll_1 est la parallaxe de hauteur de la lune, Ss_1 celle du second astre et les angles l_1Os_1 et LTS_1 sont égaux. Ceci posé, si h et h_1 sont les hauteurs apparentes des astres H et H_1, leurs hauteurs vraies, on a dans les triangles apparent lZs et vrai l_1Zs_1, en appelant d et D les distances mesurée ls et vraie l_1s_1 et A l'angle LZS.

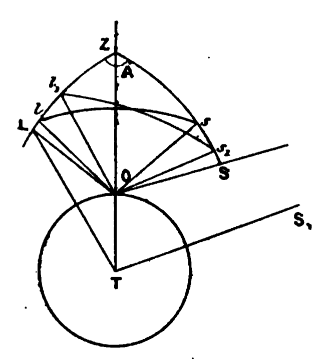


Fig. 32

$$\text{Cos } d = \sin h \sin h_1 + \cos h \cos h_1 \cos A.$$
$$\text{Cos D} = \sin H \sin H_1 + \cos H \cos H_1 \cos A.$$

L'élimination de A entre ces deux équations donne donc D en fonction des quantités restantes. Mais on voit qu'il faut avoir les hauteurs vraies et apparentes des astres. Au XVIIIe siècle on observait en général ces dernières et on passait aux hauteurs vraies en calculant les réfractions et les parallaxes. Ces calculs doivent être faits avec une grande précision, tandis que les hauteurs peuvent être approchées à quelques minutes sans qu'il en résulte d'erreurs sensibles. Enfin, comme la distance mesurée se rapporte aux bords des astres, il faut la corriger de leurs demi-diamètres pour la rapporter à leur centre. Ces calculs préparatoires

des réfractions, des parallaxes et des demi-diamètres forment la seconde partie du problème. On ne peut s'en dispenser et ils constituent un ensemble. C'est la partie délicate de la question.

Les calculs une fois effectués on peut passer à l'élimination de l'angle A des formules ci-dessus. C'est sur cette élimination, sur ce simple troisième calcul, un peu long, peut-être, mais mécanique et sans difficultés, que se sont excercés les chercheurs, comme nous allons le voir. Exposons d'abord quelques procédés spéciaux.

D'Après calculait deux distances apparentes pour deux lieux dont les longitudes étaient sa longitude estimée et cette longitude augmentée de 20^m de temps, soit de 5°. Il pouvait faire ce calcul puisque l'heure locale et la longitude lui donnaient l'heure de Paris avec laquelle il obtenait les coordonnées célestes des astres puis leurs coordonnées horizontales dans le lieu. Une simple interpolation lui donnait alors sa vraie longitude qui correspondait à la valeur mesurée de la distance apparente. C'était la méthode de fausse position proposée par Halley.

La Caille eut l'idée d'une autre méthode qui contenait les germes des méthodes différentielles et des méthodes par graphiques ou par machines très employées dans les solutions ultérieures. En développant la différence entre la distance vraie D et la distance apparente *d* en série procédant suivant les puissances croissantes des petites quantités ll_1 et ss_1, c'est-à-dire des fonctions Réfraction — Parallaxe de chaque astre, on peut obtenir un grand nombre de développements dont les deux premiers termes sont :

$$(P - R)_{☾} \cos Zls - (R - P)_{*} \cos Zsl$$

ce que l'on peut voir géométriquement. La Caille, pour faire la réduction, se contentait des calculs de ces deux premiers termes. L'idée de ce procédé lui était vraisemblablement venue à la suite de la lecture du traité de l'anglais Cotes, mort en 1716, ami et éditeur de Newton, dont l'ouvrage intitulé *Estimatio errorum* contenait pour la première fois les formules différentielles qui

sont entrées si en honneur depuis. La Caille en effet cita cet ouvrage avec éloges et c'est à lui qu'on dut la faveur dont jouit alors en France la méthode de Cotes. D'autre part, La Caille eut encore l'idée de calculer graphiquement les deux termes de la formule donnant la réduction, les parallaxes, les réfractions, le temps de Paris et l'angle horaire, en un mot toutes les parties du calcul. Son graphique se trouve dans le mémoire de 1759 et il est inséré plusieurs fois dans la *Connaissance des Temps* à partir de 1761. Il comprend d'abord trois petits abaques destinés aux calculs des parallaxes de hauteur et des réfractions et à celui de la variation de la hauteur avec le temps ; puis un chassis de réduction consistant en un cercle gradué de 17 à 18 pouces (47 à 49 cm.) de diamètre et destiné à représenter un méridien. Il indiquait les moyens d'obtenir l'angle horaire et les cosinus des angles l et s par des constructions analogues à celle dont nous avons parlé au chapitre consacré à l'heure locale, et il estimait que la construction graphique pour l'angle horaire avait la précision du calcul trigonométrique dans lequel on négligeait les secondes de degré, ce qui est fait pour surprendre, bien qu'il obtînt une valeur égale à quatre fois celle de l'angle horaire, car sur un cercle de 48 centimètres de diamètre un arc de 4' est représenté par une longueur de 0 mm. 25 seulement. Lalande donnait cette méthode, sans démonstration, comme un moyen d'avoir la longitude sur mer par la lune, sans calcul, en une heure de temps, et il ajoutait qu' « on pouvait la regarder comme le dernier pas de ce qui restait à faire pour mettre le secret des longitudes à la portée de tout le monde ».

La méthode de Charnières était extrêmement laborieuse. De l'observation de la distance il déduisait, dans le triangle formé par le pôle de l'écliptique, la lune et l'astre, la longitude vraie de la lune, qu'il comparait à la longitude approchée calculée avec le temps de Paris obtenu au moyen du temps local et de la longitude estimée. Connaissant d'autre part la variation de la longitude de la lune, il en concluait le temps de Paris exact, inconnue du problème. Il faisait le calcul des parallaxes en longitude

et latitude par le nonagésime. Soit (fig. 33) Z le zénith, p le pôle de l'écliptique, L et l les lieux vrai et apparent de la lune. Ll est la parallaxe de hauteur et l'angle LpA, égal à AL multiplié par la sécante de la latitude de la lune, est la parallaxe en longitude. Pour la calculer, Charnières se servait de l'angle l qu'il déterminait dans le triangle Zpl. Pour cela il suffisait de connaître l'angle en p et le côté Zp, puisque le côté Zl était donné par l'observation. Soit maintenant N_0 le nonagésime, NZS le méridien, Qγ l'équateur, Eγ l'écliptique, Q le « milieu du ciel », E le « point culminant », A_1 est le pôle de pZN_0H et $pZ = N_0H = EA_1S$. Le triangle rectangle EγQ où on connait ω et γQ, temps sidéral local, donne γE, EQ et l'angle A_1ES. Ceci effectué, le triangle rectangle EA_1S ou ES = EQ + colatitude, permet de calculer l'angle EA_1S et le côté A_1E. Enfin de A_1E on déduit $\gamma N_0 = \gamma E - EN_0 = \gamma E - A_1E + 90$. On peut obtenir ainsi la hauteur et la longitude du nonagésime ; or cette hauteur est le Zp cherché et l'angle en p du triangle Zpl est égal à la différence entre les longitudes de la lune et du nonagésime. On peut donc faire le calcul de la parallaxe.

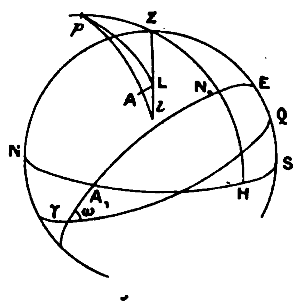


Fig.33

Ce calcul des parallaxes par le nonagésime, point ainsi nommé parce qu'il est à 90° de l'intersection de l'écliptique et de l'horizon, fut très employé dans les calculs relatifs aux éclipses. Aussi Képler et Riccioli commencèrent-ils, en 1627 et 1665, à donner des tables de la hauteur et de la longitude du nonagésime. La *Connaissance des Temps* en publia aussi à plusieurs reprises ; en 1767 celles de Lalande pour la latitude de Paris ; en 1775 celles des latitudes de 41°, 43°, 45°, 47°, 51°28' : latitude de Greenwich, 52°31' : latitude de Berlin, 55°, 57° et 59° ; en 1776 celles des latitudes de Vienne, Bologne et Saint-Pétersbourg, en 1777 de Dantzig. Enfin en 1779, Levêque, de Nantes, avait calculé des tables générales dans lesquelles la latitude variait de degré en

degré. Dans le même ordre d'idées, Lemonnier avait aussi fait construire un compas sphérique qui permettait de mesurer l'angle de position sur un globe de dimensions raisonnables.

Il y avait un calcul qu'on pouvait faire à l'avance et donner dans des éphémérides et qui devait simplifier les réductions. C'était celui des distances vraies pour les temps du premier méridien. La Caille en avait tracé le plan et le modèle. Il avait proposé de faire les calculs des distances vraies de la lune au soleil et à quelques belles étoiles, de 4 heures en 4 heures. La *Connaissance des Temps* de 1761 en contient, dans ses notices, quelques exemples, destinés à illustrer l'idée en question. Mais pour exécuter ce projet il fallait du temps et de l'argent.

L'Angleterre nous devança dans cette exécution, et, là encore, le passage de Vénus de 1761 fut l'occasion d'un progrès de la longitude à la mer. Maskelyne était allé observer ce passage à Sainte-Hélène. Il fit dans ce voyage ce que La Caille avait fait dix ans auparavant et il se rangea à l'avis de ce dernier. Dès 1763, il proposa, dans son *British Mariner's guide*, ouvrage qui paraît avoir été très peu répandu chez nous, puisque Rochon ne put se le procurer pour ses voyages, d'adopter le plan de l'astronome français. Il ne s'en tint pas là et il obtint, après des instances tenaces, la publication de l'almanach dont la forme avait été donnée en France. En 1767, paraissait le premier volume du *Nautical almanac*. Il était publié par Nevil Maskelyne « en vertu d'un acte du Parlement de la cinquième année du règne de George III et par ordre des commissaires de la longitude ». L'ouvrage, qui avait pour but de contribuer grandement aux perfectionnements de l'astronomie, de la géographie et de la navigation, devait être publié chaque année, et il le fut en effet. On y annonçait que Mayer ayant porté les tables de la lune à un degré d'exactitude suffisant pour avoir la longitude à la mer à 1° près, comme il apparaissait par plusieurs essais, les calculs relatifs au soleil et à la lune avaient été faits sur ses manuscrits reçus après son décès. Chaque mois, on donnait quatre pages de distances de la lune au soleil et

à α Aigle, β Capricorne, Antarès, l'Epi, Regulus, Pollux, Aldébaran, α Bélier et α Pégase. Elles étaient calculées de 3 heures en 3 heures, ce qui constituait une légère amélioration sur le projet de La Caille. Les distances du soleil à la lune étaient comprises entre 40 et 120°. Quand la lune était à une distance du soleil comprise entre 20 et 40°, on ne donnait que des distances à une étoile opposée au soleil par rapport à la lune. Pour les distances luni-solaires variant de 40 à 90°, on ajoutait aux distances du soleil à la lune des distances à une étoile opposée au soleil. Enfin, quand la lune était éloignée du soleil de 90 à 120°, l'almanach contenait des distances au soleil et à deux étoiles situées de part et d'autre de la lune. On recommandait d'ailleurs de faire simultanément des observations de distances à des astres situés à l'est et à l'ouest de la lune, le procédé éliminant les erreurs instrumentales, d'autant mieux que les distances étaient plus voisines. Dans ce cas, on pouvait obtenir la longitude à 10 milles près.

Le *Nautical* eut un grand succès. En 1769, un membre de l'Académie de Marine, Trémargat, s'offrit pour faire sa traduction. En 1771, l'Académie se prononçait en faveur des distances lunaires et Blondeau lut en séance un extrait de l'annuaire anglais. Puis, le 10 mai, on résolut d'écrire à Lalande pour lui demander de le faire venir, et surtout celui de 1767. On le priait également de s'occuper de le faire traduire, sans quoi l'Académie s'en occuperait elle-même. Elle publia, en effet, les huit derniers mois de 1772, et cette même année elle fit paraître des *Tables et instructions propres à la détermination des Longitudes en Mer* pour l'année 1773. L'ouvrage était imprimé à Brest, chez Malassis, par ordre de l'Académie de Marine. C'était une simple traduction des tables des distances du *Nautical almanac*, pour les temps de Greenwich. L'Académie y annonçait qu'elle aurait soin de se procurer tous les ans l'almanach anglais, aussitôt paru, et de le publier un mois après en France, en attendant que les circonstances lui permettent de le donner au public sans avoir recours aux étrangers. Elle estimait que l'erreur sur la longitude

devait être en général inférieure à 1 degré et qu'elle ne pouvait guère dépasser un maximum de 2°. Comme méthode de réduction, elle proposait la plus immédiate. On calculait l'angle A dans le triangle apparent et, cet angle étant connu, le triangle vrai donnait la distance vraie.

Mais aussitôt Lalande écrivit à l'Académie qu'il espérait lui épargner à l'avenir la peine de rédiger cet almanach, car il comptait mettre les distances du *Nautical* dans la *Connaissance des Temps*, ce qui eut lieu, en effet, dès 1774. « J'ai cru rendre service, écrivait-il en 1775, en insérant ces calculs importants que nous devons au zèle et à la magnificence du Gouvernement d'Angleterre et du Bureau des Longitudes. » Maskelyne, « avec le zèle d'un savant, me les a envoyés, disait-il encore, aussitôt qu'il a été possible ». Jusqu'en 1778, la *Connaissance des Temps* publia purement et simplement les tables anglaises pour les temps de Greenwich. En 1778, Jeaurat les donna pour les temps de Paris. En 1800, d'ailleurs, une partie des distances fut de nouveau extraite de l'annuaire anglais, mais on devait les recalculer en France le « plus tôt possible ». Cela paraît n'avoir recommencé que vers 1808. En 1833, enfin, on commença à donner les distances aux planètes. Les premiers calculs de la distance de la lune à des planètes avaient été faits à Florence et à Copenhague ; mais Lalande avait proposé, dès 1779, les distances à Vénus et en 1783 les distances à Saturne.

On conçoit que Lalande ait tardé à reproduire l'almanach anglais qui, dès sa naissance, était plus complet que la *Connaissance des Temps*, vieille, en 1767, de 88 ans, car il devait désirer ne publier que des calculs faits en France. Delambre raconte que lorsque Lalande se présenta pour la succession de Maraldi, vers 1759 comme membre de l'Académie chargé de la *Connaissance des Temps* (ce membre recevait alors 1.200 livres par an), il avait pour compétiteur Pingré, et il fait remarquer que le choix de Lalande fut heureux pour la navigation, car il tenait pour la méthode des distances et pour les tables de Mayer, tandis que Pingré, nous le savons, penchait vers le calcul par l'angle horaire

au moyen des tables de Lemonnier. De sorte que le retard dont nous avons parlé ci-dessus aurait pu être plus grand encore.

Revenons maintenant à l'élimination de l'angle A. On peut la faire en cherchant une formule donnant la distance vraie, et on obtient ainsi les « solutions directes ». La méthode de calcul direct du troisième côté d'un triangle sphérique dont on connaît deux côtés et l'angle compris, sans décomposer le triangle en triangles rectangles, remonte, d'après Borda et Lévêque, à 1706 au moins. C'est Dunthorne qui l'a appliquée le premier aux distances lunaires. Sa formule est la suivante :

$$\cos D = \cos (H - H_1) - [\cos (h - h_1) - \cos d] \frac{\cos H \cos H_1}{\cos h \cos h_1}$$

Elle se trouve dans le *Nautical* de 1767. Dunthorne mit en tables la fraction qui multiplie la parenthèse, fonction qu'on retrouve dans toutes les formules de cette catégorie. Borda a donné une autre formule du même genre. Elle est basée sur le calcul d'un angle auxiliaire. On la voit dans la relation du voyage de la *Flore*, publiée en 1778, et dans la *Connaissance des Temps* de 1779. Si on pose :

$$2S = h + h_1 + d$$

$$\sin^2 M = \frac{\cos H \cos H_1}{\cos h \cos h_1} \cdot \frac{\cos S \cos (S - d)}{\cos^2 1/2 (H + H_1)}$$

on a :

$$\sin \frac{D}{2} = \cos \frac{H + H_1}{2} \cos M$$

Cette formule a le grand avantage de ne pas exiger de tables spéciales, les tables ordinaires de logarithmes suffisent et c'est sans doute pour cette raison qu'elle a fini par s'imposer presque exclusivement dans la pratique. D'autres formules du même genre ont été proposées ; par exemple, en France, par Romme, en 1789, et par Delambre ; à l'étranger par Maskelyne, qui déterminait l'angle auxiliaire par une tangente et non par un sinus, de sorte que sa formule, légèrement moins simple que celle de Borda, était un peu plus exacte.

En 1795, un Espagnol, Mendoza, fit connaître un procédé nouveau qui consistait à employer les sinus et susinus verses, c'est-à-dire les fonctions 1 — cosinus et 1 + cosinus, lignes trigonométriques toujours positives. Sa formule est la suivante :

$$\sin v.\, D = [\sin v\,(d + B) + \sin v.\,(d - B)] + [\text{susin}\, v.\,(H + H_1)] \\ + [\sin v\,(h + h_1 + B) + \sin v.\,(h + h_1 - B)] - 4$$

où on a :

$$2 \cos B = \frac{\cos H \cos H_1}{\cos h \cos h_1}$$

En 1805 il fit paraître en Angleterre, où il s'était établi, des tables donnant les trois termes entre crochets. Il paraît qu'il se pendit, désespéré d'une faute de calcul qu'on y avait découverte. La première édition française de ces tables n'est que de 1842. La préface qui les accompagne est une réclame sur leurs avantages. L'éditeur Richard annonce que le calcul qui leur est relatif est si rapide qu'il est rendu aussi court que celui d'un angle horaire. Delambre accorda publiquement, dans la *Connaissance des Temps*, de 1806 à 1808, ses préférences au nouveau procédé, même sur le sien et celui de Borda, et Lalande n'eût, paraît-il, pas confié son exemplaire, reçu de l'auteur, à son meilleur ami. Il ne devait cependant pas beaucoup s'en servir, si même il s'en servit jamais. L'officier français qui les utilisa le plus fut sans doute Rossel, qui les employa à la vérification des calculs des distances prises pendant le voyage de Dentrecasteaux, observations qui avaient d'abord été réduites par la méthode de Borda.

La méthode différentielle de La Caille eut beaucoup d'imitateurs. Mais la formule qu'il a donnée, réduite à ses deux premiers termes, ne peut s'employer avec quelque rigueur que pour des distances comprises entre 75 et 105°. Pour les autres, il est nécessaire de pousser le développement plus loin ; les termes du second ordre contiennent en effet les facteurs cotg d ou coséc d. Ces méthodes différentielles furent surtout employées en Angleterre et elles sont intimement liées aux méthodes graphiques. C'est

par une méthode de l'espèce, due à Lyons et donnée dans le premier *Nautical*, que Shepherd fit calculer les immenses tables de réduction dont nous allons parler. Ces tables, de 1.200 grandes pages, parurent en 1772, par ordre des Commissaires de la longitude. Elles rendaient la réduction très simple. Elles furent calculées par Lyons, Parkinson le jeune et Williams, du collège de Christ, à Cambridge. Pour les construire, on a fait varier les distances apparentes de 4 en 4°, et, pour les distances intermédiaires, on a interpolé en tenant compte des différences secondes. Les distances y vont de 10 à 120° en croissant de degré en degré. En tête de chaque page, se trouve la distance apparente. Dans la page on trouve cinq groupes de cinq colonnes, constituées de la manière suivante. La première, à gauche, contient la hauteur apparente de la lune ; la deuxième celle de l'étoile, la troisième la réduction pour une parallaxe de 53', qui est la plus petite parallaxe lunaire, et pour une réfraction correspondant à une hauteur barométrique de 28 pouces 1 ligne (760 mm.) et une température de 10°,25 (12°,8). La quatrième colonne contient le logarithme logistique de la variation de la réduction pour une augmentation de la parallaxe de 9', la dernière celui de la variation pour un changement de la réfraction dû à une variation de la pression atmosphérique égale à 16,51 lignes (37 mm.), et à une variation de la température de 8°8/9 (11°). (Les logarithmes logistiques étaient destinés au calcul des proportions dans lesquelles le terme inconnu est multiplié par 3.600. Le logarithme logistique d'un nombre est égal au logarithme de ce nombre diminué du logarithme de 3.600, et si x est le nombre cherché, a et b les deux quantités de la proportion autres que 3.600, on a log. logistique $x =$ log. logis. $a +$ log. logis. b). Avec les tables de Shepherd, on admettait qu'un pilote, sans connaître ni astronomie, ni méthode de calcul, pouvait, en une demi-heure, avoir sa longitude à 0°,5. Mais les interpolations y étaient longues et assez pénibles, bien que Lalande eût déclaré qu'elles ne demandaient que 7 à 8 minutes ; et c'est leur principal défaut, sans compter leur prix élevé. Elles étaient en effet vendues en France 48 livres.

On fit davantage encore. Margetts, en 1790, mit en graphiques les tables de Shepherd, sur 110 grandes figures en 70 planches. La meilleure édition est celle de 1793. Elle est à très grande échelle et les figures y sont très nettes. Les hauteurs de la lune sont portées de degré en degré sur des lignes verticales. La hauteur de l'autre astre est figurée par les ordonnées de lignes courbes obliques. La correction à apporter à la distance apparente pour la parallaxe de 53' est représentée par des droites horizontales distantes de 1'. La correction pour la variation de la parallaxe se trouve à part. Les graphiques de Margetts donnaient une précision de 10 à 12'', ce qui était surabondant.

En France, Maingon, « un des marins français qui ont le plus fait usage des observations de longitude », et Rochon construisirent des graphiques tout différents. La formule de Maingon contenait un terme de plus que celle de Rochon et deux termes de plus que celle de La Caille. La carte de Maingon contient d'abord quatre échelles donnant les coefficients de sa formule, qui sont des fonctions des réfractions et des parallaxes ; enfin un quartier de réduction, abaque familier aux marins, permettant d'effectuer les multiplications ou divisions des coefficients par les lignes trigonométriques avec lesquelles ils étaient combinés dans la formule.

Rochon aussi se servait du quartier de réduction ou de tables en tenant lieu. Borda et Lévêque, chargés du rapport sur la carte de Maingon, lui donnent, dans leurs conclusions, la préférence sur tous les autres procédés graphiques.

Rochon avait aussi imaginé un compas sphérique destiné à construire les triangles vrai et apparent, mais l'instrument le plus curieux dans cet ordre d'idées est le triangle de Richer. L'Académie avait proposé pour sujet du prix Raynal de 1790 de « trouver pour la réduction de la distance apparente de deux astres en distance vraie une méthode sûre et rigoureuse qui n'exige cependant dans la pratique que des calculs simples à la portée du commun des navigateurs ». Leguin proposa un compas à quatre branches, mais c'est le triangle de Richer qui fut cou-

ronné, le 4 mai 1791. Richer avait réalisé une remarque de Lagrange qui avait démontré que si

$$90 - h\,;\ 90 - h_1\,;\ d$$

$$\cos\frac{h + h_1}{2} + \sin\frac{h - h_1}{2}\,;\ \cos\frac{h + h_1}{2} - \sin\frac{h - h_1}{2}\,;\ 2\sin\frac{d}{2}.$$

sont respectivement les côtés d'un triangle sphérique et d'un triangle rectiligne, les angles de ces triangles opposés aux côtés d et $2 \sin \frac{d}{2}$ sont égaux. Cela se démontre en écrivant la relation métrique qui donne le carré d'un côté d'un triangle rectiligne en fonction des autres côtés et du cosinus de l'angle compris. On tombe en effet alors sur la formule fondamentale des triangles sphériques. D'où il est facile de s'expliquer l'instrument de Richer. Cette machine n'était toutefois ni très commode « ni très facile, ni très prompte. Elle exigeait de l'intelligence, de l'adresse et de l'habileté ». Elle donnait la réduction à une approximation suffisante pour avoir la longitude à 30'. Cependant elle avait des défauts. Les microscopes étaient divisés par parties égales alors que leurs divisions devaient varier avec leurs positions sur les règles, graduées elles-mêmes par parties inégales. Richer l'améliora en 1801. Enfin il coûtait très cher.

Borda jugeait sévèrement toutes ces méthodes graphiques et instrumentales. « Elles ont l'inconvénient, dit-il, d'habituer à un travail automatique des esprits qui n'y sont que trop disposés », et « sous le rapport de la théorie, elles sont plus compliquées que les méthodes rigoureuses. » D'ailleurs « elles ne dispensent pas entièrement du calcul ». Tout de même il reconnaissait qu'elles pouvaient rendre des services comme moyen rapide de vérification de calculs déjà effectués, et, en résumé, il pensait que la meilleure manière d'éviter aux navigateurs les difficultés et les embarras d'un calcul était de leur apprendre à calculer. Delambre enfin n'était pas plus tendre que Borda. « C'est pour ménager les préjugés des marins, dit-il, que La Caille construisit

son châssis de réduction. Sa méthode est adroite, mais on ne peut que regretter la peine qu'il a prise à la composer. On serait tenté de croire qu'en imaginant ces pratiques ingénieuses, mais obscures et compliquées, il a voulu dégoûter les marins de ces moyens pénibles et inexacts. »

Nous terminerons ce chapitre par une curieuse idée de Rochon, qui ne pouvait manquer de trouver dans le calcul des distances lunaires une occasion d'utiliser les prismes qu'il proposait d'employer à tout. Il imagina d'ajuster à l'octant, derrière le petit miroir, un prisme donnant 1° de déviation au rayon qui le traversait, l'arête de ce prisme étant horizontale et pouvant se placer par retournement soit vers le haut, soit vers le bas. En mesurant les distances de l'astre à la lune vue directement dans les deux positions du prisme, on pouvait obtenir deux distances correspondant à deux hauteurs de la lune différant de 2°. Donc on pouvait en déduire par proportion la variation de la distance pour une variation de la hauteur de la lune égale à sa parallaxe moins sa réfraction ; et en ajoutant cette variation à la distance apparente mesurée sans prisme, et faisant les mêmes opérations sur le second astre, on pouvait avoir la distance réduite. Pour mettre l'arête du prisme horizontale il suffisait d'un repère ou d'une bulle ménagée dans le liquide contenu entre les deux parties d'un prisme double. Ainsi Rochon, à lui seul, proposa trois systèmes. On n'est plus étonné alors de pouvoir compter aujourd'hui une centaine de méthodes pour l'élimination cherchée.

Il reste à dire un mot des tables de logarithmes employées d'ordinaire. En 1742, Gardiner avait donné une édition à sept décimales des tables de logarithmes de Vlacq. Elles contenaient les logarithmes des sinus de seconde en seconde pour les 72 premières minutes. Ces tables firent négliger toutes les précédentes. En 1770 elles furent réimprimées à Avignon par Pézenas, avec les sinus et les tangentes de seconde en seconde pour les quatre premiers degrés. Pézenas avait extrait ces derniers logarithmes de Mouton qui les avait calculés à dix décimales. Enfin en 1783 et 1795, Callet fit des éditions portatives des tables de Gardiner.

La première contenait les sinus et les tangentes de seconde en seconde pour les deux premiers degrés, la deuxième pour les cinq premiers. Ces tables furent alors les plus commodes, mais celles de La Caille, à six décimales seulement, étaient aussi recommandées.

LA LONGITUDE ET LES MARINS

Les astronomes et les artistes avaient donc résolu le problème de la longitude. La contribution des astronomes, en particulier, était immense. Ils avaient trouvé les dimensions de la terre, créé des instruments, construit des tables de mouvements célestes, donné les moyens de résoudre les problèmes qui s'étaient posés. Sans eux, il ne pouvait être question de trouver la longitude, et rien dans tout cela « n'appartenait à un navigateur considéré comme homme de mer », disaient Borda et Lévêque. Il restait à engager les marins à mettre en pratique ce que d'autres avaient inventé, et il y avait là un très grand obstacle à surmonter, car « dans toutes les innovations, ajoutaient-ils, il y a un problème moral à résoudre, plus difficile que celui qui paraît occuper le premier rang et auquel les destinées de celui-ci sont souvent attachées ».

Comment les marins accueillaient-ils les résultats auxquels parvenaient les savants et les horlogers et quels efforts faisaient-ils ou étaient-ils contraints de faire pour les utiliser ? On fit d'abord quelques tentatives pour développer l'instruction des pilotes. Bouguer avait publié son *Traité de Navigation* à la demande de Rouillé qui le lui avait demandé parce que « la théorie devait continuellement éclairer la pratique et diriger avec lumière la main qui travaille », et on pensait qu'elle permettrait aux pilotes de parvenir beaucoup plus tôt « à cette habitude qui leur était nécessaire ». Bouguer lui-même exhortait les hydrographes à s'efforcer de remplacer les premiers inventeurs : « ma-

thématiciens habiles qui sur l'exposition des besoins du marin ont découvert, étant à terre, l'art de naviguer », pour instruire les pilotes. Même La Caille donne une nouvelle édition de l'ouvrage de Bouguer, non pas seulement pour rendre le volume moins volumineux, plus portatif et moins cher, mais aussi parce qu'il avait remarqué « qu'on ne mettait pas les navigateurs assez au fait des calculs familiers aux astronomes, quoique la plupart en sentissent la nécessité et l'utilité ». Il trouvait qu'on avait des préjugés sur leur difficulté et que Bouguer n'y avait pas assez porté attention. Enfin Turgot, qui passa un mois au ministère de la Marine en 1774, eut, d'après Rochon, l'idée de fonder un corps de pilotes astronomes dotés d'excellents instruments. Il ne voulait pas que « l'astronomie nautique, seul guide assuré du navigateur, fut, au mépris de la vie des hommes et de la sûreté de la navigation, plus négligée en France que chez les autres puissances maritimes de l'Europe ». On obtint quelques résultats, puisque sur la *Flore*, les pilotes s'instruisirent et furent l'objet de «témoignages si favorables rendus en leur faveur que le ministre leur fit distribuer au retour un sextant fabriqué en Angleterre, prix que le roi daignait leur accorder ». Mais les procédés astronomiques exigeaient des connaissances générales et spéciales qui devaient toujours rester au-dessus de leur culture et qu'ils ne purent jamais acquérir. En particulier la méthode graphique que La Caille, qui pourtant « avait été à même de connaître les habitudes des navigateurs », avait imaginée pour eux, leur offrit toujours des difficultés insurmontables.

Il fallait s'adresser aux officiers. Fleurieu le fit avec sévérité. « On ne saurait trop inviter les officiers à se familiariser avec les observations astronomiques », disait-il en 1773 ; puis il critiquait les pilotes et reprochait aux officiers leur obstination à ne pas se mettre à l'ouvrage. « La manœuvre fut de tout temps la science chérie de l'officier, écrivait-il, et on doit convenir qu'elle est la partie la plus brillante et la plus séduisante de son métier. » Le pilotage, grossier et incertain, méritait au contraire d'être dédaigné, ce qui justifiait l'abandon de l'estime aux pilotes.

Mais l'estime, c'était le hasard ; « quelles mers en effet n'avaient pas été couvertes de débris de vaisseaux que les erreurs de l'estime, l'indécision ou l'ignorance avaient perdus ». Il fallait donc décider les officiers à entrer « dans la carrière que les arts et les sciences avaient ouvertes, les déterminer enfin à s'emparer exclusivement de la conduite de la route ». Et il plaidait en faveur de la navigation astronomique, engageant les jeunes officiers à travailler pour ne dépendre en aucun cas des préjugés des pilotes et se mettre en état au moins de dévoiler leurs petites ruses et les subterfuges grossiers auxquels ils recouraient pour corriger l'estime à la vue des terres ; enfin il espérait qu'« une pratique aveugle cédant à des méthodes susceptibles de précision », on verrait bientôt les navigateurs empressés à jouir des découvertes qui assuraient « la sécurité des expéditions, la fortune des citoyens et surtout la conservation des hommes ».

Mais, à lire des auteurs plus récents, on peut être aussi amené à penser que l'appel de Fleurieu ne porta pas beaucoup de fruits. En 1799, année de sa mort, Borda, par exemple, écrit qu' « il est temps que les marins cessent de regarder les sciences mathématiques et physiques comme inutiles à la pratique de la navigation et à ses progrès », car « pour l'art sublime de conduire le vaisseau et d'assigner à chaque instant sa position, tous les efforts de la pratique et sa continuité n'ont jamais rien produit et ne pouvaient rien produire », de sorte que « tout doit porter les marins à cultiver les sciences et à les honorer. » Enfin Rochon pense de même lorsqu'il dit, en 1807 que « la plupart des navigateurs regardent encore la connaissance de la longitude comme une chimère », et que leur faculté intellectuelle ne leur permet pas de faire usage des bons instruments créés pour eux. Seulement c'était peut-être chez lui le souvenir de vieilles rancunes nourries 36 ans auparavant contre Kerguelen, qu'il avait quitté à l'Ile-de-France, en août 1771, parce que cet officier « ne sentait pas le prix de l'instruction et s'efforçait à éloigner ceux qui servaient sous ses ordres de toute application aux connaissances qu'il leur importait le plus d'acquérir ».

Ces tableaux sont poussés au noir. Si on a toujours rencontré des officiers du parti de Kerguelen, c'est-à-dire ennemis de la culture, par contre, à toutes les époques aussi, on peut en trouver un grand nombre ayant acquis ce qu'ils devaient connaître pour bien jouer leur rôle de marin. Fleurieu, déjà, atténuait la portée de ses critiques, en ajoutant en note que ses réflexions ne pouvaient être applicables à l'avenir, car depuis longtemps le goût et la pratique des sciences exactes s'étaient répandus dans la marine, de sorte que l'usage des méthodes nouvelles ne pouvait manquer de devenir bientôt général.

Rappelons d'abord Radouay qui, au commencement du XVIII[e] siècle déjà, prophétisait et parlait des résultats obtenus avec ses montres afin que les officiers vissent les avantages qu'ils pouvaient en retirer. Nous connaissons aussi Bory, et Chabert qui en 1753, nous apprend que « plusieurs officiers » commencent, en vue de la géographie, à s'attacher aux pratiques d'astronomie nécessaires à l'utilisation des observations lunaires.

Or, l'année précédente, l'Académie de Marine avait été instituée officiellement. Son origine fut toute spontanée comme celles de l'Académie des Sciences et de l'Académie française. Avant 1752, des officiers, dont le principal était Bigot de Morogues, capitaine de vaisseau et capitaine d'artillerie, se réunissaient chaque semaine à Brest pour conférer sur les études maritimes. Bigot profita d'un passage de Rouillé à Brest pour lui demander de donner un caractère officiel à ces assemblées, et sur le rapport de membres de l'Académie des Sciences, chargés d'assister aux séances, Rouillé donna à la Société, le 30 juillet 1752, son premier règlement. Elle comprenait 72 membres : 10 honoraires, dont Bouguer ; 10 académiciens libres, dont d'Après, Bellin, Pézenas ; 30 académiciens ordinaires, tous attachés au service de la marine, dont Bory et Chabert, et 22 membres adjoints, tous marins également, dont Goimpy. Aucune branche de la science nautique ne devait lui rester étrangère. Elle se proposait, en particulier « d'éclairer la pratique de la navigation en la soumettant à l'épreuve d'une théorie rigoureuse », et en unissant d'ailleurs intimement

les deux disciplines, car elle pensait que « si l'expérience sans la théorie est longue, incertaine, et n'est le plus souvent qu'un tâtonnement aveugle qui retarde le progrès, la théorie sans l'expérience n'opère par contre sans danger que dans le cabinet ». On y travailla sérieusement, malgré les nécessités du service qui apportèrent souvent des irrégularités dans l'observation du règlement. Il devait y avoir une séance par semaine. Pourtant, de 1756 à 1765, pendant la guerre coloniale, et après le Traité de Paris, il y en eut très peu ; même on n'en compte aucune en 1757 et 1759 par exemple et de 1762 à 1765. Mais, par une ordonnance de 1765, Choiseul réorganisa la marine, et quatre mois après le jour où elle fut décrétée, les séances recommencèrent. Enfin, encore à la demande de Morogues, elle fut reconstituée sur des bases nouvelles par Praslin. Le nouveau règlement, qui est du 24 avril 1769, la plaçait sous la protection directe du roi, la faisant « Académie royale de Marine ». Il lui destinait tous les ans 4.000 livres, au lieu de 3.000 qui lui étaient délivrées auparavant, pour achat de livres et d'instruments, et cette somme fut portée, vers 1780, à 6.000 livres. On y trouve alors Pingré, Bezout, Lalande, Lemonnier, Borda, Rochon, Fleurieu, Grenier, etc. Elle lutta contre les officiers ignorants et jaloux qui s'écriaient que la théorie n'était bonne à rien et que la pratique seule pouvait faire un bon officier. Rappelons enfin qu'en 1771 elle fut affiliée à l'Académie des Sciences.

Elle s'occupa toujours beaucoup des questions de navigation. Nous avons dit les progrès qu'elle fit faire à la construction des boussoles et comment elle fit traduire le *Nautical*. Elle prit à cœur également la question de l'établissement, à Brest, d'un observatoire de la marine, destiné à recevoir des instruments tels que des sextants et des cercles propres à être délivrés aux officiers qui en faisaient la demande au moment de leur départ en campagne. En 1777, Borda fut chargé d'en parler au ministre. En 1781, l'Académie décida d'employer à la construction de cet observatoire 7.000 livres qu'elle avait en caisse, et elle demanda des secours au Gouvernement. En 1783, elle acheta même le terrain

sur lequel sont aujourd'hui bâtis le temple protestant, le palais de justice et les maisons attenantes dans le but d'y élever l'édifice en question, et si elle ne réussit pas dans cette entreprise, puisque le kiosque en bois qui fut bâti sur ce terrain pour servir d'observatoire ne fut érigé qu'en 1797, alors qu'elle n'existait plus, il ne faut pas moins lui compter les efforts qu'elle fit dans ce sens. Elle avait été emportée en effet par le décret du 14 août 1793, qui avait supprimé toutes les Académies, et n'avait pas été reconstituée au moment de la formation des classes de l'Institut. On lui devait pourtant un nombre considérable de mémoires qui prouvent qu'elle s'était acquittée activement de sa mission. Sous son impulsion, toutes les sciences nautiques avaient progressé.

D'autre part, pendant une grande partie de son existence, on se préoccupa de donner aux officiers la culture qui leur devenait indispensable. Sur l'ordre de Choiseul, l'académicien Bezout avait écrit un *Cours de Mathématiques* destiné à donner aux gardes du pavillon et de la marine les connaissances qu'on exigea dès lors d'eux pour en faire des officiers. Ce cours très étendu comprenait de l'arithmétique, de la trigonométrie plane et sphérique, les éléments du calcul différentiel et intégral, enfin un traité de navigation. Cette collection scientifique devait permettre aux marins, dit Fleurieu, de se passer des astronomes à la mer ou pour faire les cartes. Berthoud, en 1773, nous apprend que l'examen qu'on faisait subir aux gardes de la marine obligeait « ces jeunes officiers de s'instruire, en sorte qu'ils devaient être en état de suppléer au besoin à l'usage des horloges par les observations et les méthodes astronomiques », et Rochon, qui comparait la théorie au levier d'Archimède, reconnut que depuis Bezout, une foule d'officiers ayant acquis des talents supérieurs, l'étude avait créé en peu de temps de grands hommes de mer.

Pendant le voyage de Verdun et de Borda, plusieurs officiers observèrent et calculèrent des longitudes, soit au moyen des montres, soit par la lune, et on utilisa les nouvelles méthodes en service courant, à peu près dès qu'elles furent créées. Ainsi, en 1772, aussitôt parue la première traduction du *Nautical*, De

Langle, la Prévalaye et Trémargat font des distances à la mer sur la *Dédaigneuse*, et ils rendent compte de leurs résultats à l'Académie de Marine. Ils observent de préférence de jour, des distances luni-solaires par conséquent. Généralement deux d'entre eux mesurent les hauteurs des points de contact des disques pendant que le troisième prend la distance. Pour apprécier exactement la précision de la méthode, ils observent non seulement au large, mais surtout en vue de terre et même en rade, à Cascaes par exemple. Le plus souvent, l'erreur sur la longitude est comprise entre 30 et 60'. Elle est très rarement plus grande que 1°, et elle tombe parfois à quelques minutes (15 à Cascaes). Leur campagne avait eu lieu en juin et juillet sur les côtes d'Espagne et de Portugal, du cap Finistère au cap Saint-Vincent.

On suivit leur exemple pendant la guerre de l'Indépendance Américaine. De 1781 à 1784, dans la flotte de Suffren, il n'y avait pas de chronomètre, mais les officiers y observèrent des distances lunaires. On en trouve à une vingtaine de dates. Elles sont faites surtout dans le voyage de retour et placées en général au milieu des grandes traversées ou avant les atterrissages. Ils en prirent un grand nombre avant de reconnaître la terre dans la route de Port-Louis au Cap, alors que l'estime les mettait dans le Natal, ce qui était tout à fait déroutant, puisque le très fort courant du canal de Mozambique devait les entraîner en avant, non en arrière. Dans ces parages, leurs longitudes observées leur donnèrent heureusement des positions correctes. De même, en allant du Cap à Gibraltar, ils observèrent une longitude pour atterrir sur les hauts-fonds de Rio Grande, sur lesquels, coïncidence curieuse, Vasco de Gama avait également passé, en revenant pour la première fois de la côte de Malabar.

D'Estaing et de Grasse opéraient dans l'Atlantique nord. D'Estaing était parti de Toulon en avril 1778 avec 12 vaisseaux et 5 frégates. Il avait Borda pour chef d'état-major. Suffren commandait le *Fantasque*, Bougainville le *Guerrier*, Chabert le *Vaillant*. Borda, d'après F. Berthoud, avait sa montre n° 10, construite comme le n° 8, mais à échappement libre. Chabert empor-

tait l'horloge 17 à poids et une montre n° 3 à ressort, qui était sans doute celle que nous connaissons, car sa montre astronomique de poche, qui porte le même numéro, ne fut exécutée qu'en 1806. La traversée de Toulon à la Delaware dura 99 jours. Chabert calculait les longitudes par ses montres et Borda prenait des distances lunaires. Leurs résultats, vers le milieu de la traversée, s'accordaient à 15' près. En 1781 et 1782, Chabert a le commandement du *Saint-Esprit* dans la flotte de de Grasse. Il emporte l'horloge 22 à poids et la montre n° 2 à ressort, toutes deux de F. Berthoud encore. Elles lui permettent d'atterrir à la Martinique en venant de Brest, à 20' près, après six semaines de mer. Et il faisait l'éloge des « nouvelles » méthodes qui rendaient la navigation plus sûre et plus rapide de tout le temps que faisaient perdre les tâtonnements des pilotes. Il était heureux « d'offrir à ses généraux des moyens d'assurance pour la direction des routes de l'armée » ; il espérait que la « précision de ses atterrissages exciterait le zèle d'un grand nombre d'officiers très instruits, empressés à l'imiter » ; enfin il pensait que « l'utilité reconnue des horloges engagerait le gouvernement à multiplier ce moyen de sûreté pour la navigation des vaisseaux du roi et qu'on parviendrait bientôt à y faire participer les bâtiments du commerce ».

Les deux campagnes de Chabert condamnèrent les horloges à poids. Le 17 et le 22 ne purent plus servir en effet après les combats de la Grenade et de la Chesapeake. On ne pouvait les déplacer sans d'extrêmes précautions, car alors on risquait pour le moins de les arrêter, et l'horloge n° 8 avait été abîmée dans un transport par terre où les rouliers la renversèrent. On les laissait donc en place, à proximité des canons. Or, au combat de la Chesapeake, la pièce qui était devant l'armoire aux montres rompit ses bragues et recula jusque dans l'armoire qu'elle défonça. Donc, concluait Chabert, on ne doit en construire qu'à ressort, plus petites et plus maniables. Le n° 3 n'avait eu qu'un saut au combat de la Grenade et le n° 2 lui donna toujours sa longitude à 15' ou 20' près dans ses plus longues traversées, sauf de Saint-Domingue

à Groix, à sa seconde rentrée en France, où il fut en erreur de 2°,5. Mais il attribua cette grosse irrégularité sans précédent à un accident qu'on lui avait caché.

Le chevalier de Ternay, qui transporta Rochambeau à Rhode-Island, en 1780, avait aussi une montre de F. Berthoud. C'était la petite horloge à longitude n° 1 qui avait été exécutée en 1777. Elle approchait des montres de poche et pouvait aussi bien être transportée en voiture. Elle était encore à balancier horizontal suspendu et guidé par des rouleaux et à châssis de compensation, mais à vibrations libres. En 1799, Bruix emmena 25 vaisseaux, 11 frégates et 1.600 hommes de troupes de Brest à Toulon, d'où il ravitailla Gênes et Savone en évitant devant Toulon la flotte de Keith, puis il se réunit à Carthagène à une flotte espagnole et ramena le tout à Brest. Or il avait également une horloge de Berthoud, le n° 8, et on peut croire que la précision qui en résulta pour sa navigation, en lui permettant d'agir rapidement, contribua au succès de sa campagne. Enfin Humboldt, en 1803, emporta une montre de F. Berthoud en Amérique.

Cependant, il n'y avait pas assez de montres. En 1781, Gaigneur écrivait dans son *Pilote instruit* : « On a lieu d'espérer que les montres résoudront le problème de la longitude, mais elles ne sont pas encore assez répandues et, vraisemblablement, il s'écoulera bien du temps avant que leur usage soit général, et nous ne nous en occuperons pas ». De même, dans l'édition de 1781 du traité de Bouguer, on lit que « les horloges étaient encore trop imparfaites » et on ne s'en occupait pas davantage. Effectivement, en 1790, Marchand, partant de Marseille pour faire le tour du monde, ne peut se procurer d'horloge à longitude et, en 1793, même, Lalande n'en dit pas grand'chose dans son *Abrégé de Navigation*.

Leur nombre s'accrut bientôt. Nous avons déjà vu que F. Berthoud, à partir de 1789, ne céda plus aucune de ses constructions. Mais depuis 1786, son neveu Louis Berthoud donnait d'excellents instruments. Malheureusement, il n'a pas, comme son oncle, laissé beaucoup d'écrits. Un décret impérial du 10 mars

1806 lui confia quatre élèves qu'il devait initier à la construction des montres destinées à la marine et il publia, en 1812, un opuscule contenant, sous une forme trop exclusivement littéraire pour donner beaucoup de détails précis, le résumé de ses leçons. Le nombre de ses ouvrages s'élevait alors à 150. Il avait fait venir un artiste sachant travailler les pierres précieuses, « qui avaient été mises en usage par les Anglais bien avant nous », mais qui commençaient à se multiplier en France. Il avait trouvé un joli mot sur le spiral : « C'est l'âme de la montre, disait-il, et le spiral isochrone en est l'âme intelligente. » Il préférait au spiral plat de l'ancienne forme, le spiral cylindrique, qu'il trouvait beaucoup plus avantageux, même dans les montres à gousset. En 1793, il en employa aussi en forme de fusée, c'est-à-dire de tronc de cône; il pensait que ce système avait un degré de précision supérieur au spiral cylindrique. Ses spiraux étaient d'ailleurs pitonnés suivant la règle d'isochronisme de Le Roy. Il compensait seulement par le balancier, afin de ne pas détruire l'isochronisme, et, employant à cet effet le « moyen annoncé par Pierre Le Roy », il faisait le balancier de deux ou quatre arcs bimétalliques avec masses de laiton. Son échappement enfin était à détente pivotée. En 1793, l'Académie des Sciences avait proposé pour sujet de prix la construction d'une montre de poche pour déterminer la longitude à la mer, en spécifiant que la division du jour devait être faite en 10 heures, celle de l'heure en 100 minutes, et celle de la minute en 100 secondes. Rien n'avait été envoyé au moment de la suppression des académies. Mais l'Institut, en l'an IV, reproposa le même sujet, toutefois sans exiger la décimalisation. Le lauréat devait recevoir une médaille d'or de la valeur de un kilogramme. Louis Berthoud reçut la récompense. Il avait envoyé deux montres n°s 1 et 2, désignées par les devises « ma liberté fait ma constance » et « au temps qui instruit ».

Louis Berthoud mourut en 1813 et, peu après, Bréguet fut nommé horloger en titre de la marine. Ce dernier fut alors, à partir de 1820 et pendant plusieurs années, presque exclusivement le seul fournisseur de la marine. C'est lui qui donna à l'é-

chappement libre à ressort à très peu près sa forme actuelle. Excellent artiste, il se plaisait aux difficultés et on a conservé de lui un chronomètre à spiral cylindrique de verre. En 1822 cependant on commença à acheter des montres à Motel, ancien élève de L. Berthoud, qui reçut le même titre que Bréguet, de sorte qu'en 1832 on avait 44 chronomètres de Berthoud, 29 de Bréguet et 70 de Motel, ce qui portait l'approvisionnement de la marine à 143. C'est alors que d'autres artistes demandèrent à participer à la fourniture et que le ministre de Rigny, acquiesçant à leur demande, décida d'acheter les montres à l'avenir au concours. Dès l'année suivante, en 1833, les épreuves commencèrent pour l'achat de 16 montres dont on prit 12 à Motel, 3 à Bréguet et 1 à Jacob.

Vers 1815 on était donc à peine en mesure de délivrer des montres à un certain nombre de bâtiments. Ce fut cependant le 1er septembre de cette année que le ministre comte de Jaucourt signa une *Instruction pour les bâtiments à bord desquels sont embarquées des montres* qui doit être le premier règlement officiel de l'espèce, de sorte qu'on peut faire remonter à cette époque l'intention ministérielle de fournir des montres à tous les navires. On y disait que les services rendus par les montres en faisaient embarquer dans presque tous les voyages au long-cours et on y recommandait l'emploi d'une montre de poche pour tenir lieu de compteur (le compteur véritable ne devant arriver que vers 1845 où on en commanda 150 à Berthoud, Bréguet, Jacob et Gannery), et l'observation des distances lunaires pour contrôler de temps en temps la valeur des chronomètres. Les premiers journaux des montres datent de cette instruction.

C'est encore vers ce moment qu'on trouve pour la première fois dans les traités de navigation des chapitres détaillés sur l'emploi des montres comme sur des instruments devenus classiques. (Nous savons que les méthodes par la lune étaient exposées depuis longtemps au contraire.) Tels sont les traités de Rossel, rééditant en 1814 le cours de Bezout, et celui de Guépratte, directeur, après Rochon et Maingon, de l'observatoire de la marine à Brest.

Guépratte, en 1816, prit comme exemple de marches des extraits de journaux de 4 montres qu'il avait étudiées à l'observatoire : deux d'entres elles avaient été très irrégulières et elles avaient dû être renvoyées au constructeur pour réparation ; les deux autres, qui s'étaient montrées bonnes, furent délivrées le 31 août et le 10 septembre 1814 à deux bâtiments : le *Lis* et la *Thémis*. En feuilletant au hasard des journaux de bord entre 1820 et 1830, on trouve fréquemment du reste des preuves de l'usage des montres et de l'emploi de distances lunaires. Citons, en 1821, le brick le *Curieux* allant de Lisbonne aux Açores avec la montre n° 80 ; la *Thétis* en 1822 qui, en Méditerranée, a une montre et observe des distances ; la *Vénus* qui en 1828 a deux montres. Toutefois, jusqu'en 1827, les journaux ne portent encore dans l'encadrement imprimé réservé au point à midi, que la rubrique : longitude d'arrivée, tandis qu'il y a deux indications relatives à la latitude, l'une pour la latitude d'arrivée ou estimée, et l'autre pour la latitude observée. Mais à partir de 1827, le journal de bord prend à peu près la forme qu'il a gardée depuis.

Enfin Guépratte, dans un traité postérieur à 1835, donne des extraits des marches de 11 montres. Il est vrai qu'il croit nécessaire de faire remarquer qu'on devra refuser « à ces instruments une confiance aveugle » et « qu'on sera toujours dans l'obligation de comparer leurs résultats à ceux que fourniraient les distances lunaires ». Deux d'entre elles en effet ont manifesté en 7 mois une variation de marche de 19 secondes. En rade, le signal horaire destiné à leur vérification était fait à ce moment par un brûle-amorces, comme du temps de l'*Isis* et de la *Flore*.

A cet effet, en 1818, l'observatoire à Toulon fut rattaché par des opérations géodésiques à l'église Sainte-Marie, et, par des signaux de feux, à celui de Marseille ; et la construction de celui de Lorient fut ordonnée en 1822 par le ministre de Clermont-Tonnerre qui avait remarqué, dans une visite qu'il fit à ce port, que les bâtiments sur rade n'avaient aucune ressource pour régler leurs chronomètres.

LA GÉOGRAPHIE
ET LA DÉCOUVERTE DU PACIFIQUE

Une longitude exacte, à bord d'un bâtiment, ne peut servir qu'à la condition de pouvoir être rapportée à des régions du globe exactement repérées, autrement dit il était « inutile d'avoir la longitude du vaisseau à 15 ou 20' près, comme l'écrivait Chabert, si les cartes n'avaient pas la même exactitude ». De plus une carte bien faite peut servir à tout le monde, tandis qu'une longitude sans erreur à bord d'un navire ne peut renseigner que lui seul. Ainsi il était encore plus urgent pour la sécurité de la navigation de lever et de tracer de bonnes cartes que de pouvoir bien naviguer individuellement. C'est ce besoin de faire avancer la géographie qui faisait dire à Chabert, dès 1753, avec un sens juste de l'identité des moyens à employer pour obtenir la longitude à la mer et à terre, lorsqu'il s'agit de la reconnaissance hydrographique rapide des côtes, qu'on devait s'attendre à voir bientôt la géographie perfectionnée par les observations de la lune. Trente ans plus tard, il ajoutait que les montres étaient « aussi utiles pour la géographie que pour la navigation ». Sans elles, en effet, on aurait toujours été « forcé de se contenter d'un très petit nombre de déterminations », tandis qu'elles « fournissaient des moyens prompts et sûrs de multiplier les observations de longitude à terre ainsi qu'à la mer ». C'est ainsi que pendant la guerre d'Amérique, il avait déterminé la longitude du cap Henlopen, dans la Delaware, en transportant avec ses chronomètres, pendant 13 jours, les résul-

tats d'une éclipse de soleil calculée plus tard avec les observations correspondantes d'Europe. Il l'avait trouvée de 77°33', différente de 0',5 seulement de la longitude obtenue par le passage de Vénus de 1769 et de 8',5 du nombre donné par les éclipses des satellites de Jupiter de 1767 à 1769. La valeur véritable est d'ailleurs de 77°33'.

Fleurieu était du même sentiment, « les horloges permettent de rectifier les cartes qui sont très imparfaites », dit-il, et, dans le voyage de l'*Isis*, il s'occupe systématiquement de ces rectifications qui l'absorbent au moins autant que les montres elles-mêmes. Dans la relation du voyage il donne les préceptes à observer pour effectuer convenablement le tracé des cartes sur papier. En particulier il indique, d'après une théorie de Bouguer, la valeur des cotes de l'échelle des latitudes en tenant compte de l'excentricité du méridien terrestre (1). Mais c'est dans le récit de la campagne de la *Flore* qu'on trouve pour la première fois, clairement et complètement indiqués, les principes des « levers hydrographiques sous voiles », règles qui vont être suivies tout de suite après et pour longtemps. Elles sont faciles à résumer. On fixe les positions importantes en les relevant dans la direction est-ouest aussi près que possible d'une observation de latitude, dans la direction nord-sud au voisinage d'une détermination de la longitude, et les longitudes sont rapportées à des stations dont la position a été déterminée soit par des observations astronomiques faites à terre dans des observatoires élevés dans ce but, soit le plus souvent par un très grand nombre de distances lunaires. Ce sont alors les montres qui, réglées dans ces stations, servent à donner à chaque instant les différences de longitude entre ces lieux origines et ceux où on observe des angles horaires, et d'autant mieux que les traversées pendant lesquelles on les utilise à cet effet sont plus courtes. « Les distances sont préférables aux chronomètres, disait La Coudraye en 1785, lorsqu'il

(1) La valeur de l'aplatissement de Bouguer était très erronée. Il s'était arrêté à 1/179.

s'agit d'observer à des distances de temps éloignées, tandis que les garde-temps sont au contraire préférables pour de petites distances. » Enfin, chaque fois qu'on le pourra, on contrôlera les montres par elles-mêmes en revenant en un lieu dans lequel on est déjà passé, de manière à obtenir la valeur de l'erreur commise entre les deux séjours au même point, et on embarquera deux montres au moins, les valeurs journalières de leur marche relative avertissant alors du dérangement de l'une d'elles. Les relèvements et segments capables enfin sont, bien entendu, largement utilisés.

En 1776 Borda fit une campagne hydrographique par les méthodes indiquées ci-dessus. Il détermina alors sur la *Boussole* les positions géographiques principales des Canaries et des points de la côte d'Afrique compris entre le cap Spartel et le cap Bojador. Il avait, au départ de Brest, l'horloge 18, à poids, de Ferdinand Berthoud, et sa montre à ressort n° 4, construite en 1773. En passant à Cadix, il embarqua aussi l'horloge à poids n° 10 acquise par l'Espagne, qui avait commandé huit montres à F. Berthoud, et il donna alors le n° 4 à Chastenet-Puységur, commandant l'*Espiègle*, qui prenait part à l'expédition. En cours de campagne, le 18 devint d'ailleurs inutilisable par suite de la rupture du ressort de suspension, mais les deux autres donnèrent toujours de bons résultats. Il déterminait l'état sur le temps local et la marche par l'observation de hauteurs correspondantes à terre. Et il écrivait à Berthoud : « Je crois avoir fait une très bonne carte de la côte d'Afrique, de Spartel à Bojador, et des Canaries ; mais certainement il m'aurait été impossible d'en faire une pareille sans vos horloges. J'ai eu occasion de reprendre les mêmes points à différentes reprises et j'ai trouvé un accord qui prouve que cette manière de faire les cartes est très précise. » Il donna à Sainte-Croix de Ténériffe une longitude de 18°35'20" et on admet aujourd'hui 18°34'31". Il rechercha encore la hauteur du pic de Teyde et trouva cette fois la valeur exacte de 1.904 toises (3.713 mètres).

La même année, Chabert faisait, avec deux montres de Berthoud, une nouvelle campagne dans la Méditerranée.

Chastenet-Puységur profita de l'expérience acquise pendant le voyage de la *Flore*, sur laquelle il était embarqué en qualité de garde-marine, et pendant sa campagne d'Afrique, faite en compagnie de Borda, pour dresser, en 1784 et 1785, un *Pilote de Saint-Domingue*. Il avait trois montres : la petite horloge n° 1 et le n° 28 de F. Berthoud et une montre A ; mais nous ne savons pas si c'était celle de Le Roy. Nouet, de l'ordre de Cîteaux, l'accompagnait à titre d'astronome. Le 28 ne put servir qu'au début ; les deux autres, au contraire, furent surtout régulières après la première partie des opérations.

A partir de 1784 et pendant plusieurs années, Rosily, savant officier et ancien compagnon de Kerguelen et de Suffren, fit de même une campagne hydrographique destinée à rectifier le *Neptune oriental* de d'Après. Il embarqua sur deux navires, la *Vénus* et la *Méduse*, et travailla sur les côtes de Madagascar. d'Anjouan et du cap Guardafui, de la mer Rouge et du détroit de Bab-el-Mandeb, du golfe Persique et des bouches du Sind ; de Ceylan et de l'Inde orientale ; enfin de la Cochinchine. Il alla même jusqu'à Manille. On voit que ses explorations s'étendirent sur toute la côte sud de l'Asie. Il emportait les montres XXIII et XXIV de F. Berthoud. Cette dernière, terminée en 1782, était horizontale, à ressort et fusée, mais toujours à balancier suspendu et à châssis de compensation agissant sur le spiral. Elle avait un échappement à vibrations libres (Berthoud y était revenu définitivement), plus simple que celui de l'horloge n° 9 et l'aiguille battait la seconde.

Plus tard, ce même Rosily, devenu vice-amiral et directeur du Dépôt des cartes et plans de la Marine, fit entreprendre un travail plus indispensable qui consistait dans la rectification des côtes occidentales de France et la détermination de positions en Méditerranée. La première partie fut effectuée sous la direction de Beautemps-Beaupré, ingénieur-hydrographe, assisté surtout d'hydrographes, mais aussi de quelques officiers de marine, lieutenants de vaisseau ou enseignes et d'élèves de la marine. Rossel était alors sous-directeur du Dépôt. On donna à Beautemps-

Beaupré les goélettes la *Recherche* et l'*Astrolabe*, dont les campagnes s'étendirent sur dix années, de 1816 à 1826. Daussy fut chargé de la triangulation côtière entre Brest et la frontière espagnole. Il mesura tous les angles des stations principales au cercle répétiteur astronomique de Borda. C'était un cercle entier à deux lunettes, monté sur un pied, de façon à pouvoir être orienté d'une manière quelconque par rapport à la verticale. Cassini, rendant compte des opérations entreprises en 1787 pour la jonction de Paris et de Greenwich, qui fut faite avec le nouvel instrument, dit que « la pratique ayant confirmé la précision singulière que la théorie annonçait de la part du cercle entier dans la mesure des angles pris suivant la méthode de Borda avec le cercle de réflexion, ce savant s'occupa de l'application de cet instrument aux observations géodésiques pour la mesure des angles sur le terrain », ce qui montre la liaison de la recherche de la longitude et de la nouvelle triangulation. De plus, les angles à la mer étaient pris avec le cercle de réflexion.

En même temps Roussin, en 1816 et 1817, prolongea sur la *Bayadère* et le *Lévrier*, l'hydrographie de la côte d'Afrique depuis Bojador, où s'était arrêté Borda, jusqu'aux îles de Loss, au sud du Rio Grande. Il employa la méthode de ce dernier en se servant de quatre montres de Louis Berthoud, dont il vérifia la perfection en revenant souvent aux mêmes points. L'ingénieur hydrographe Givry était de ces voyages qui furent suivis, après 1819, de la reconnaissance des côtes du Brésil par la *Bayadère*, assistée du brick le *Favori*. La *Bayadère* avait alors les montres 56 et 99 de Louis Berthoud. Elles étaient suspendues à bord, dans une armoire où on entretenait, au moyen d'une lampe, une température uniforme de 30° centigrades. La marche de la montre 56, grâce à ce régime, ne varia que de $0^s{,}45$ en 55 jours. Enfin, en Méditerranée, des positions furent fixées de la même manière par le capitaine de frégate Gauttier, qui fit campagne sur la gabarre la *Chevrette*, de 1816 à 1818. Il employa sept montres. La marche du 80, par exemple, ne subit, de mars 1816 à septembre 1817, qu'une variation de 6^s. Les autres furent aussi très bonnes et les

résultats obtenus donnaient toute satisfaction, étant donnés les moyens employés. En effet, Gauttier fixa entre autres la longitude de la Galite à 2' près ; celle du Stromboli à moins de 1'.

Dès que les montres eurent commencé à faire leurs preuves, on songea à les utiliser pour la découverte du continent austral qui, depuis longtemps, hantait les rêves des géographes européens. On croyait généralement à son existence, même dans la seconde moitié du XVIIIe siècle. Quelques-uns pensaient qu'il était nécessaire à l'équilibre du monde pour compenser la grande masse d'eau des océans du sud. Sur la carte d'Ortel de 1587, la *Terra australis* s'appelle Terre de Feu, au sud de l'Amérique, dont elle n'est séparée que par le détroit de Magellan. Elle s'éloigne davantage de l'Afrique, puisqu'elle en reste à 13 ou 14°. C'est là qu'elle porte le nom curieux de « Région des Perroquets » que les Portugais lui avaient donné « *ob incredibilem earum avium ibidem magnitudinem* ». Enfin, sous l'Insulinde, elle dépasse deux fois dans le nord le tropique du Capricorne et ses deux points extrêmes atteignent les latitudes de 15° sud au sud de Java et de 24° sous la Nouvelle-Guinée. Au commencement du XVIIIe siècle, Frézier, doublant le cap Horn et y rencontrant des icebergs, « îles glacées qui sont un mauvais voisinage parce qu'on y ferait naufrage comme contre de véritables îles, et plus tristement même, leur froideur étant mortelle et étant très escarpées », disait Radouay, y voit une preuve de l'existence de ce continent méridional : « s'il est vrai comme plusieurs le prétendent, dit-il, que les glaces ne se forment en mer que de l'eau douce qui coule des terres », il faut conclure qu'il y a des terres vers le pôle austral.

Ils n'avaient pas tout à fait tort de croire à ce continent fabuleux, puisqu'il existe effectivement, quoique en proportions beaucoup plus réduites que celles que leur imagination lui assignait. Même leur idée d'équilibre du monde n'était pas si sotte, puisqu'on la retrouve dans les conceptions d'Elie de Beaumont et de Green, assujettissant la terre aux symétries géométriques d'un réseau pentagonal ou d'un tétraèdre, et aussi chez Faye et les partisans de l'isostatisme, preuve de la persistance des

idées fondamentales en lesquelles se résume la science et qui servent de jalons aux recherches des savants.

Toujours est-il qu'en 1771, Kerguelen fut envoyé à la découverte de ces terres australes. Ses instructions portaient que le continent en question devait s'étendre jusqu'aux latitudes de 45°, et il lui était recommandé de « lier commerce et amitié avec les habitants » et « d'examiner les manufactures du pays », s'il y en avait. Kerguelen partit de Lorient le 1er mai 1771, emmenant Rochon qui tentait encore une fois des aventures maritimes. Celui-ci était arrivé à bord avec la montre n° 6 de F. Berthoud. Il n'avait pas de table de la variation de la marche avec la température, mais il trouva quand même que les observations démontrèrent « la marche régulière et uniforme de ce garde-temps ». Rochon observa des distances lunaires dans la traversée qui prit fin à l'Ile-de-France le 19 août. Mais il ne continua pas au-delà de cette relâche, parce qu'il ne s'entendait pas avec Kerguelen. Celui-ci, en effet, n'avait aucune confiance dans les moyens employés pour observer la longitude, il s'obstinait à ne se fier qu'à l'estime et il n'eut même pas la sonde du Banc-des-Aiguilles. Rochon, qui se sentait inutile, était désespéré. Il tenta une dernière preuve de la valeur de sa méthode. Le 8 août, par 40° de latitude sud, ses observations indiquaient une erreur de 6° dans l'estime, et il avertit Kerguelen qu'ils allaient tomber sous le vent de l'Ile-de-France, lui affirmant qu'il ne pouvait se tromper de plus de 1° par les distances lunaires. Il parvint à obtenir de Kerguelen l'autorisation de faire atteindre cette île au bâtiment à l'aire de vent, sans reconnaître Rodrigue, ce à quoi il réussit en effet ; mais à l'arrivée il demanda quand même à débarquer. Kerguelen continua donc seul. Il refit d'abord la route de Grenier qu'il était chargé de vérifier et qu'il jugea préférable à celle qui était suivie jusque-là. C'est ensuite que, dans une rapide campagne dans le sud, il aperçut l'île qui porte son nom et qu'il prit pour un continent. Après son retour, on ordonna une seconde campagne. Kerguelen repartit des îles le 29 octobre 1773 avec le *Roland* et l'*Oiseau*. Il emmenait cette fois deux astronomes :

Mersais, qui avait fait la *Flore*, et d'Agelet, ami et élève de Lalande. Charnières aussi était du voyage, mais Kerguelen déclarait avec quelque mépris « que ce n'était qu'un astronome » et qu'on ne pouvait compter sur lui comme officier, ce qui est un peu surprenant.

On lui avait confié les montres 8 et 11 de F. Berthoud. Les résultats obtenus furent à peu près nuls. Berthoud aurait voulu changer l'échappement du n° 11 qui était l'échappement libre du n° 9 ; de plus, la lame composée en était défectueuse, de sorte que sa compensation était très médiocre. Les tables de corrections pour la température ne se montrèrent pas en rapport avec les variations réelles ; elles donnaient des variations en sens inverse des véritables, comme si Berthoud s'était trompé de signe en les dressant. Il y eut des écarts diurnes de 12, 26, 29 secondes, dit Le Roy. Quant à l'horloge n° 8, Berthoud n'avait pas eu le temps de la remettre en état après la *Flore*. Enfin, Kerguelen conservait ses préventions. D'Agelet, d'après Lalande, voulait observer assidument des longitudes, mais il était désolé de ne pouvoir rapporter toutes les observations astronomiques et géographiques qu'il désirait parce qu' « on lui en ôtait le temps et les moyens ».

Donc les astronomes et les marins traçaient peu à peu, avec une exactitude de plus en plus satisfaisante, des cartes de l'Atlantique, de la Méditerranée et de la Mer des Indes. Mais il restait à figurer les immenses contours continentaux et insulaires de l'Océan Pacifique, très mal connu à la fin du XVIIIe siècle. L'Amérique du Sud, le sud de la Chine et l'archipel de la Sonde étaient à peu près fixés quoique grossièrement ; mais les côtes asiatiques et canadiennes qui s'étendent des deux côtés du détroit de Behring et les parties sud et est de l'Australie restaient des mystères. Les premières régions étaient en effet les points du globe les plus éloignés par mer des ports d'Europe, et les secondes restaient très en dehors des routes d'Europe aux Indes orientales, qu'on suivît l'itinéraire du cap Horn ou celui du cap de Bonne-Espérance.

En 1752, l'académicien Delisle avait fait construire, par Buache, une carte de la partie nord du Pacifique, qui montre bien la pro-

fonde ignorance dans laquelle on était, à cette époque, de la géographie de ces parages. Pour la région américaine, les documents principaux de Delisle consistaient dans la relation d'un prétendu voyage effectué en 1640 par l'amiral espagnol Fuente, envoyé à la recherche du passage fabuleux (dernier reste du fleuve Océan qui, pour les Grecs, enveloppait le monde) qui devait mettre en communication par le nord les deux principaux océans du monde. On n'a jamais connu de cette expédition qu'une soi-disant traduction anglaise du rapport de l'amiral, parue pour la première fois en 1708. Peut-être l'auteur anglais de ce document voulait-il simplement attirer l'attention de ses compatriotes sur la nécessité d'explorer, avant les Espagnols, les régions dont il parlait. Toujours est-il que la carte de Buache est absolument fantaisiste. On y trouve, par exemple, recouvrant les territoires de la Colombie britannique et de l'Alberta, une « mer de l'Ouest » trois fois plus étendue que la baie d'Hudson ; et c'est là précisément que se trouvent les monts Brown et Hooker, qui comptent parmi les plus hauts sommets des montagnes Rocheuses. On voit donc que Bellin, en 1764, était sagement inspiré en laissant en blanc la partie de ses cartes allant de Vancouver à Behring et en se contentant d'y écrire qu'il avait « trouvé la relation des prétendues découvertes de l'amiral Fuente trop suspecte et trop peu exacte pour l'employer » et qu'on « ignorait si, dans cette partie, c'était des terres ou de la mer ».

Quant à ses cartes de même date de la partie sud-ouest de la « Mer du Sud », on y voit la Tasmanie et la Nouvelle-Guinée réunies par des pointillés à la terre australienne, ce qui montre que Bellin ignorait les détroits de Bass et de Torrès. Le Pacifique était cependant très parcouru ; le galion d'Acapulco le traversait régulièrement entre le Mexique et Manille ; et Dahlgreen a relevé plusieurs voyages autour du monde, accomplis par des marins français rien qu'au commencement du XVIIIe siècle. D'autre part, Lemaire et Shouten, en 1616, Roggevein, en 1722, Tasman, en 1742, en avaient parcouru le sud ; mais, lit-on dans une relation de 1785 du troisième voyage de Cook, « leurs découvertes

avaient été très imparfaites ». Dans le nord, Behring et Tchirikof arrivèrent « peut-être » en 1741 sur les côtes canadiennes. Tout cela n'eut pour ainsi dire pas de résultats.

Pourquoi n'en fut-il pas de même des voyages multipliés qui commencèrent à Bougainville et à Cook ? On sait que les mobiles qui les firent entreprendre étaient très différents de la ferveur religieuse et du désir d'ouvrir des débouchés à des commerces précieux, qui furent les causes des grands voyages des xve et xvie siècles. « L'esprit d'aventure s'était affaibli, et on savait qu'il y avait peu à gagner pour le commerce dans ces découvertes », dit un éditeur de 1774 des voyages anglais accomplis entre 1760 et 1770. Ce fut la curiosité scientifique qui poussa en effet à ces nouvelles entreprises, car « c'est un défaut de curiosité bien coupable que de ne pas nous instruire de ce qui a rapport à notre planète », disait-on encore à l'époque. On voulait donc « ajouter aux connaissances qu'on avait sur la terre » et les compléter, « rectifier les positions », étudier les phénomènes des marées, les courants, le magnétisme, les sciences naturelles et l'humanité. Mais tout cela ne pouvait se faire que si la « rectification » et la détermination rapide des lieux était possible, d'où la liaison étroite qui existe entre la longitude et les nouveaux voyages. Ceux-ci furent le triomphe des nouvelles méthodes de navigation et leurs résultats en représentèrent les conquêtes. Quand on y regarde de près, on constate avec une pleine évidence (c'est ce qu'on pensait au moment des voyages de Cook) que « ces voyages de découvertes et les opérations du Bureau des Longitudes marchaient de concert et qu'il fallait les rapprocher si l'on voulait se former une juste idée de l'étendue du plan mis alors en exécution pour les progrès de l'astronomie et de la navigation », et vers 1800, Borda et Lévêque écrivaient de même que « les voyages dans la mer du sud portaient un grand intérêt » sur la longitude. Il y a effectivement entre la longitude et la découverte du Pacifique une liaison si intime qu'on peut affirmer que les voyages qui eurent lieu à la fin du xviiie siècle et au commencement du xixe n'auraient été ni aussi nombreux, ni aussi

retentissants, ni aussi fructueux si la navigation par l'estime avait continué à ce moment à être la seule possible. Peut-être n'auraient-ils pas eu lieu. C'est un fait qu'on n'a pas assez mis en relief à notre sens.

En 1765, Byron et Mouats, en 1767 Wallis et Carteret, traversèrent le Pacifique du Cap Horn à Batavia ; mais ils firent ces voyages trop rapidement et avec des moyens trop insuffisants pour pouvoir « reconnaître » le globe entre l'Amérique et le Cap, comme on le désirait. En 1769, Surville, de la Compagnie des Indes, sur le *Saint-Jean-Baptiste*, alla du Gange au Pérou en passant par les Baschi au nord des Philippines, les îles Salomon et la Nouvelle-Zélande ; et en 1771 Marion, avec le *Mascarin* et le *de Castries*, quitta le Cap de Bonne-Espérance et toucha à la Nouvelle-Zélande où il fut massacré, après quoi ses bâtiments remontèrent à l'île de Guam et se rendirent à Manille. Mais leurs reconnaissances laissèrent aussi peu de souvenirs.

Le premier voyage de Cook en 1769 et celui de Bougainville en 1766-69, qui eurent lieu à peu près en même temps que ces derniers, eurent au contraire un éclat immense. On sait que Cook partit sur l'*Endeavour*, de 84 hommes et du port de 370 tonnes, pour observer le passage de Vénus à Tahiti, et que le voyage de Bougainville fut considéré alors comme la première circumnavigation autour du monde d'un bâtiment français, ce qui n'est pas. Mais si ces expéditions méritèrent d'être placées hors rang, si elles ouvrirent réellement une ère nouvelle, cela tient surtout à ce qu'elles furent les premiers grands voyages maritimes pendant lesquels on observa systématiquement des longitudes à la mer (1), fait qui fut considéré comme assez frappant pour qu'on ait désigné par un astérisque sur l'itinéraire de Cook, figuré sur la carte jointe à la relation de son voyage, tous les points où la longitude a été observée. Des Falkland à Batavia il y en a vingt-cinq. C'est à ce titre que ces voyages nous appartiennent ici.

(1) Wallis observa des longitudes « suivant la méthode de Maskelyne » ; mais sans tirer beaucoup parti, semble-t-il, de ses observations.

Bougainville partit de Brest le 5 décembre 1766. Il eut sous ses ordres la *Boudeuse* et l'*Etoile*. Le pilotin Véron, astronome de l'expédition, et l'enseigne du Bouchage étaient chargés des observations astronomiques. Le 27 novembre 1767, du Bouchage observa à l'octant huit distances luni-solaires et Véron cinq ; le 29 Véron en prit cinq autres et le 2 décembre ils purent relever le cap des Vierges. Ils fixèrent alors sa longitude à 71°30' par les observations du 27, à 72°10' par celles du 29 et ils adoptèrent pour sa position la moyenne de 71°50'. On admet aujourd'hui 70°42'. Cette première détermination de position géographique à la mer était donc relativement bonne. Véron avait aussi un mégamètre de Charnières. Continuellement il fit des longitudes par la lune et apprécia les erreurs de l'estime. Avant l'arrivée à Tahiti, il trouva une différence de 2°40' entre les longitudes données par l'octant et par le mégamètre. Dans cette île, la veille du départ, il employa la méthode de Pingré par l'angle horaire de la lune conclu de sa hauteur. Les résultats extrêmes différaient de 6 à 7°. C'était beaucoup, mais cela confirmait simplement la critique de La Caille. Véron ne devait pas revoir la France. Il débarqua à l'Ile-de-France pour aller aux Moluques observer un passage de Mercure qui devait avoir lieu le 9 novembre 1769. Le Gentil le rencontra dans l'Inde au moment où il s'y rendait et c'est dans ces îles qu'il contracta, en observant la nuit, la fièvre dont il mourut le 1er juillet 1770, à son retour à l'Ile-de-France.

On connait l'expédition de Lapérouse qui, ayant quitté Brest en juin 1785, décrivit dans le Pacifique un immense circuit dont une partie essentielle était formée par deux boucles s'appuyant sur les côtes nord-est et nord-ouest de cet océan. Dagelet, qui avait fait le deuxième voyage austral de Kerguelen, était à bord ; mais il était largement aidé par les marins. Ils emportaient un observatoire portatif, quatre cercles de Borda, trois sextants anglais, cinq horloges de F. Berthoud et un chronomètre anglais, et ils ne laissèrent jamais échapper l'occasion de faire des distances lunaires, qu'ils observaient au cercle, en multipliant les observations. Ils estimaient les tables lunaires approchées à 30"

en moyenne, à 40 ou 50'' au maximum et obtenaient la longitude à 15' en général, et à 30' dans leurs plus grandes erreurs. A Tongatabou, dans les îles de l'Amitié, ils prirent un très grand nombre de distances et trouvèrent à 7' près le même résultat que Cook qui en avait observé 10.000 en quatre ou cinq mois. Ils fixèrent par des distances les longitudes de Macao et de Cavite et leurs résultats s'accordent à 6',5 pour la première, à 16' pour la seconde avec les longitudes données actuellement.

Les petites montres à ressort 25, 27 et 29 ne rendirent pas beaucoup de services. En mars 1786, après dix mois de campagne, 25 et 29 ne méritaient plus leur confiance. Les horloges à poids 18 et 19 furent de beaucoup meilleures. Toutefois, à partir de juillet 1787, la marche du 18 fut si irrégulière qu'on ne savait quelle valeur lui attribuer. La 19, au contraire, resta toujours excellente. En mars 1786, après neuf mois, sa marche avait à $0^s,5$ près la même valeur qu'à Brest. Après dix mois, à partir de Conception (Chili), elle aurait donné à Macao une erreur à l'atterrissage de 2°14' seulement ; et avec la marche du 11 avril 1787 elle aurait donné le 5 septembre, après cinq mois, une erreur analogue égale à 1°19'. De Macao à Cavite, en vingt jours, cette erreur était de 4',5. Enfin à Avatscha, six mois plus tard, sa marche n'avait varié que de 2 secondes sur celle de Cavite. Aussi, après dix-huit mois de campagne, ils pouvaient encore écrire que les deux horloges étaient aussi satisfaisantes qu'au départ. Elles leur avaient servi à dresser une carte de cette partie de la côte canadienne que Bellin n'avait pu tracer vingt-deux ans auparavant et ils disaient que « la marche des horloges de M. Berthoud était si uniforme qu'on devait croire que cet artiste avait atteint le degré de perfection dont elles étaient susceptibles ». Mais les distances donnant les longitudes sans accumulation d'erreurs leur servaient toujours de fondement. Ils comparaient les méthodes par la lune et par les montres ; les différences allaient rarement à 25 ou 30'.

Le 27 septembre 1791, Dentrecasteaux quitta Brest pour aller à la recherche de Lapérouse dont on n'avait plus de nouvelles depuis 1788. Il fit une fois et demi le tour de l'Australie en sens

inverse des aiguilles d'une montre. On lui avait donné les deux frégates la *Recherche* et l'*Espérance* du port de 500 tonneaux et de 100 hommes d'équipage. Il emportait des cercles répétiteurs astronomiques et des cercles répétiteurs de Borda, les premiers étant destinés à observer des hauteurs à terre pour avoir des angles horaires, opération pour laquelle on mettait un niveau sur la lunette inférieure ; les horloges 17 et 21 à poids et les montres 7 et 28 à ressort de F. Berthoud ; les montres 14 et 10 de Louis Berthoud ; une montre d'Arnold. L'abbé Bertrand devait diriger les observations astronomiques, mais il fut victime d'une chute qu'il fit au Cap. En voulant gravir la montagne de la Table, il roula de 200 pieds de haut et se blessa si grièvement qu'on dut le laisser en Afrique australe où il mourut au bout de quelques mois. L'ascension n'était pourtant pas difficile. La Caille l'avait décrite : « Elle se fait, dit-il, par une fente fort profonde qui est vers le milieu, un peu plus à l'occident. Elle commence aux deux cinquièmes de la montagne et est large de 50 à 60 pas, va en se rétrécissant jusqu'au sommet, elle est couverte de terre, de pierres et d'arbrisseaux. »

La direction de la partie astronomique du voyage fut alors confiée au lieutenant de vaisseau Rossel qui s'en acquitta à la perfection. Le bénédictin Pierson et plusieurs officiers l'assistèrent. A son retour en Europe il refit tous ses calculs, sauf ceux d'angle horaire, en se servant des observations lunaires faites à Greenwich pendant la campagne. Les erreurs sur les longitudes déterminées à terre tombèrent alors à 3 ou 4' tandis qu'elles atteignaient quelquefois 20 à 30' par suite des erreurs des tables lunaires, ce qui fixe à $0^{o},5$ au maximum l'erreur des longitudes à la mer à ce moment ; mais il les obtenait en général à 15 ou 20' près, en se servant de la *Connaissance des Temps* ou du *Nautical Almanac*. La montre 14 fut excellente. On en jugera par le tableau ci-dessous, dressé d'après les calculs de Rossel effectués au moyen des observations réduites avec les vraies valeurs des coordonnées de la lune.

La variation de $7^{s},4$ de Ténériffe au Cap s'expliquait, d'après

DATES ET LIEUX	MARCHES	ERREUR à l'atterrissage	ERREUR géographique
Brest	— 6s,9		
3-14 octobre. De Brest à Ténériffe	— 8s,9	0	4',5
20 oct. 91.-24 janv. 92. De Ténériffe au Cap.	— 1s,5	1°24'	3',3
13 fév.-24 avril. Du Cap à Van Diémen	+ 1s,5	23'	4'
12 mai-11 sept. De Van Diémen à Amboine.	+ 2s,1	10'	20'
9 oct.-12 déc. Amboine à Port-Espérance.	+ 6s,	52'	18'
16 déc.-27 janv. 93. Port-Espérance à Van Diémen	+ 8s,1	6'	2',3
8 févr.-28 mars. Van Diémen à Tongatabou.	+ 5s,2	11'	6',2
6-22 avril. Tongatabou à Balade (Nouvelle-Calédonie	+ 8s,6	3'	22'
6 mai-18 août. Balade à Boni (Nouvelle-Guinée)	+ 10s,7	11'	39'

L. Berthoud, par l'habitude qu'on avait de porter la montre pendant le jour. Elle fut beaucoup plus régulière quand on eut pris le parti de ne plus le faire. On voit que l'erreur géographique est souvent plus grande que l'erreur à l'atterrissage, ce qui prouve que la marche ne variait pas avec une vitesse uniforme. A la mer, enfin, les longitudes obtenues par les montres et par les distances s'accordaient à l'ordinaire à moins de 20'. En 1814, Rossel résumait son opinion sur les montres en disant que « celles de F. et L. Berthoud avaient donné généralement la longitude à 30' près après trois mois et qu'on en avait tiré parti pour le plus grand bien de la géographie et de la navigation depuis les voyages de Cook », mais qu'elles pouvaient éprouver des dérangements subits sans cause apparente, de sorte qu'il fallait les contrôler par des distances lunaires surtout avant l'atterrissage.

Pendant que Dentrecasteaux travaillait dans le sud-ouest du Pacifique, le capitaine Marchand explorait la partie nord-est qui

venait d'être visitée par Lapérouse. La circumnavigation du *Solide*, de 300 tonneaux de port, c'est-à-dire de 600 tonnes environ de déplacement, chevillé et doublé en cuivre et portant 50 hommes d'équipage, fut entreprise sur l'initiative, et, pour la moitié de leur valeur, aux frais de la maison Baux, de Marseille, qui désirait se livrer au commerce des pelleteries dans le nord-ouest canadien. Le *Solide* partit le 14 décembre 1790. Il doubla le cap Horn, explora la côte qui était le but principal de sa mission, toucha aux Sandwich, à Macao, à la Réunion et à Sainte-Hélène et entra à Toulon le 14 août 1792. Marchand était très entraîné aux observations et aux calculs des distances lunaires, ainsi que son lieutenant Chanal et ils ne cessèrent d'observer leur longitude à la mer. Au cours de leur voyage, ils la déterminèrent astronomiquement 70 fois environ. Fleurieu, qui s'appelait, en 1799, Claret Fleurieu et non plus Eveux de Fleurieu, discuta leurs observations à un point de vue nouveau. Il s'en servit pour faire une étude approfondie des courants dans les parties centrales des océans et il mit en relief, en particulier, la compensation partielle des erreurs de l'estime qui se faisait généralement dans les longues traversées, par suite du changement de sens des courants, le bâtiment étant entraîné soit à l'est ou à l'ouest, soit au nord ou au sud de sa route estimée. Des Sandwich au sud de Formose, l'erreur résultante de l'estime fut de 6°19'.

Les expéditions nationales continuèrent. On voulait suivre l'impulsion donnée par l'Angleterre et, en 1800, le *Géographe* et le *Naturaliste*, auxquels se joignit plus tard la *Casuarina*, furent confiés au capitaine de vaisseau Baudin pour faire des découvertes dans les Terres australes. Cette entreprise fut malheureuse à quelques égards, par suite des faibles qualités de marin de Baudin, mais la géographie y gagna beaucoup. Sur l'atlas joint au voyage de Dentrecasteaux, on remarque que la partie sud de l'Australie, entre le nord de la Tasmanie et l'archipel de Nuyts à l'ouest, est laissée en blanc. On dirigea donc Baudin surtout dans ces parages. D'après ses instructions, il devait s'assurer entre autres « de l'existence du détroit coupant l'Australie en deux

portions en se reliant au golfe de Carpentarie ». Les travaux eurent lieu dans le détroit de Bass, à l'ouest de cette région et autour de l'île King. Les environs d'Adélaïde, d'Albany et la côte ouest d'Australie furent aussi soigneusement explorés, afin de compléter les travaux de Dentrecasteaux. Bissy et Bernier, astronomes, avaient été embarqués. Ils avaient des éphémérides de la lune rapidement calculées pour eux par Burckhardt, sur les tables de Burg. Henri Freycinet, alors lieutenant de vaisseau, fit simultanément les mêmes observations que Bernier. Les aspirants, enfin, avaient subi des examens difficiles pour être admis. Les longitudes absolues étaient observées au cercle et les montres marines servirent pour les lieux intermédiaires aux longitudes astronomiques. Au retour, en 1804, celles-ci furent corrigées, en tenant compte des erreurs des tables lunaires d'après les observations de Maskelyne à Greenwich et d'autres de Bouvard, de Méchain et de Burg. La montre 35, de Louis Berthoud, sans doute, car F. Berthoud n'en parle pas, leur meilleure, eut une marche qui ne varia qu'entre 20s,4 et 26s,3 d'octobre 1801 à avril 1803.

Il y eut ensuite un temps d'arrêt, jusqu'au voyage de Freycinet, devenu capitaine de vaisseau, sur l'*Uranie*. Il eut lieu de 1817 à 1820. Il se proposait de faire de l'hydrographie et de recueillir des observations sur la physique du globe concernant la météorologie, l'océanographie, l'étude des marées et le magnétisme. Ils visitèrent Rio de Janeiro, Bourbon, Timor, les Mariannes, d'où ils descendirent à Port-Jackson (Sydney), mais en faisant au départ une longue route à l'est ; enfin, les Malouines où l'*Uranie* se perdit. L'expédition rentra en France sur la *Physicienne*, que Freycinet acheta pour terminer son voyage en sécurité. Il n'y avait pas d'astronome à bord, les marins, depuis longtemps, pouvant suffire aux observations. Déjà Dagelet, en effet, du temps de Lapérouse, écrivait à Lalande que « les marins n'avaient plus besoin des astronomes à l'avenir parce qu'ils acquerraient l'habitude des observations de longitudes ». Les montres furent placées sous la direction de Lamarche, premier lieutenant de l'*Ura-*

nie, qui observa chaque jour un angle horaire le matin et un le soir. De plus, à tour de rôle, deux angles horaires étaient observés également chaque jour, par un officier et par un élève de la marine. Les trois observateurs faisaient aussi la latitude à midi. On ne négligea aucune occasion d'observer des distances lunaires, et chaque officier était muni d'un cercle à réflexion et d'un horizon artificiel.

Ils avaient cinq chronomètres : quatre de Louis Berthoud et un de Bréguet. Quelques-uns eurent de fortes anomalies. Le 144 de Berthoud donnait, vers les Malouines, après une traversée de quatre mois, des longitudes qui différaient de 7° de celles qui étaient conclues du 150 de Berthoud et du 2.868 Bréguet. A terre, ils observaient des distances par séries de six.

Le voyage du capitaine de frégate Duperrey, sur la *Coquille*, suivit de près celui de Freycinet, puisqu'il s'effectua en 1822-1825 « pour l'étude des trois règnes de la nature, du magnétisme, de la météorologie et de la géographie ». Ils déterminèrent des longitudes avec les montres, soit à partir de stations principales déjà fixées et dont la détermination fut alors complétée par eux, soit à partir de points entièrement situés par leurs observations. Leurs cercles étaient munis d'un petit appareil attribué à Borda et destiné à mesurer la dépression. Nous n'avons pu trouver comment il était fait. Ils allèrent à Ténériffe, à Sainte-Catherine du Brésil, au Callao, à Tahiti, Port Praslin (Nouveau-Mecklembourg), Cajéli (île Bourou) et Amboine. Puis ils firent par l'ouest le tour de l'Australie, touchèrent à Port-Jackson et passèrent ensuite aux Carolines, à Surabaya, enfin à l'Ile-de-France. Roussin avait mesuré 892 distances formant 223 séries pour fixer la longitude de Rio. Ils en prirent 306 en 51 séries de Ténériffe aux Malouines, en passant par Sainte-Catherine (à Anhatomirim, c'est-à-dire tête de petit singe) et ils conclurent des 1.198 distances et des marches de leurs montres 118 et 3.072 la valeur de 51° pour la longitude de ce dernier point. On admet aujourd'hui 50°54',75. Au Callao, ils prirent 732 distances, à Cajéli 186. Jacquinot était l'officier chargé des montres, c'est-à-dire de la direc-

tion des observations astronomiques. Ils avaient les chronomètres 118 et 160 de Louis Berthoud, 26 de Motel, 3.072 et 3.377 de Bréguet, le dernier appartenant à Lesage, officier de l'expédition. Le 118 et le 3.072 ne furent plus utilisables à partir de janvier et de juin 1824. A la fin de l'année 1823, toutes les montres éprouvèrent en même temps des sauts brusques, à la suite, pensèrent-ils, d'orages très fréquents et violents. La marche du 26 passa alors de 10 à 26 secondes. Celle du 160 de 26 à 18 secondes. La plus grande erreur à l'atterrissage par la montre 26 fut de 10' en 41 jours, de l'Ascension à Gibraltar, et, pour la durée moyenne des traversées, qui fut de 30 jours, la moyenne absolue des erreurs à l'atterrissage des bonnes montres ne fut que de 3'. Duperrey, enfin, put dresser une carte de la circulation superficielle des eaux dans le Pacifique, en utilisant les observations de courants faites pendant son voyage et par ses prédécesseurs.

Le voyage que fit Bougainville le fils, de 1824 à 1826, sur la *Thétis* et l'*Espérance*, n'était pas spécialement destiné à la géographie ; il avait surtout pour but de « montrer le pavillon » et on se borna à y vérifier des positions. La *Thétis* et l'*Espérance* relâchèrent à Bourbon, Pondichéry, où la *Thétis* se rendit par la route Grenier en 21 jours, du 9 au 30 juin, Singapour, Manille, Macao, Tourane, Sourabaya, Port-Jackson, Valparaiso, Rio. A Cavite, ils observèrent 1.632 distances en 408 séries, en calculant d'ailleurs les hauteurs pour la réduction, comme on le faisait d'ordinaire à terre, et ils obtinrent un résultat exact à 1',6 près. A Valparaiso, 756 distances en 189 séries leur donnèrent une erreur de 7'. Ils calculaient l'erreur moyenne de leurs résultats en employant la formule de Fourier $E = \sqrt{\frac{2\,[\varepsilon\,\varepsilon]}{m}}$. Ils employaient quatre montres : 29 et 140 Berthoud, 3.201 et 3.588 Bréguet. Elles donnèrent à 1' près pour la longitude de Rio, la même valeur que les distances lunaires, mais il y a 8' de différence entre le nombre qu'ils adoptèrent et celui de la *Connaissance des Temps*.

Nous terminerons par le voyage de Dumont d'Urville qui vit,

avec l'*Astrolabe*, les débris de l'expédition de Lapérouse. Il avait déjà fait le voyage de la *Coquille* comme second de Duperrey. L'originalité de son expédition consista en ce que, au lieu de déterminer simplement des positions comme on l'avait fait sur la *Coquille*, il proposa des explorations suivies de côtes et d'archipels, et il fit de cette manière l'hydrographie des côtes de la Nouvelle-Zélande et de la Nouvelle-Guinée. Jacquemot, son second, fut directeur des observations astronomiques. Il comprit très bien le nouveau point de vue. Leurs relâches furent courtes, de sorte qu'ils n'observèrent pour ainsi dire pas de distances lunaires destinées à fixer des positions absolues. Ils assujettissaient alors les positions déterminées par eux au moyen de leurs montres à des stations principales « obtenues en joignant les résultats des travaux des principaux navigateurs », se conformant ainsi, en somme, à peu près à la méthode de Borda et de Roussin sur les côtes d'Afrique. Ils avaient quatre chronomètres: 26 et 38 de Motel et 83 et 118 de L. Berthoud. Pendant la campagne, qui dura trois ans, de 1826 à 1829, seuls le 38 et le 83 furent assez réguliers, « sans avoir rien de très remarquable », pour avoir pu être utilisés tout le temps. Ainsi la marche du 38, qui était de $3^s,2$ à Toulon, le 26 avril, était passée à $30^s,9$ en janvier 1829, à l'Ascension, et sa variation avait été irrégulière.

Mais enfin Rossel, « dernier reste de l'illustre école de navigateurs parmi lesquels brillèrent Bougainville, Lapérouse, Dentrecasteaux, Fleurieu, Borda, Chabert », put faire l'éloge de leurs travaux hydrographiques. De toute façon, le mystère de la longitude était définitivement éclairci, et les marins la déterminaient couramment, comme ils manœuvraient leurs vaisseaux. Le temps était passé où, suivant le mot de Borda, « ils avaient appris à regarder le problème des longitudes comme à peu près impossible à résoudre, au moins pratiquement ».

Il convenait de rappeler, pour finir, quelques noms parmi ceux des savants qui déchirèrent le voile. Il était si bien soulevé du reste qu'en 1828 le Bureau des Longitudes, institué en Angleterre par l'acte de 1714, était supprimé. Il avait distribué

101.000 livres sterling. Dumont d'Urville se servait enfin des distances et des montres comme on le fit après lui et comme on le fait des montres de nos jours.

C'est ainsi que les astronomes, les artistes et les navigateurs dessinaient les contours du monde (1). Le problème de la longitude à la mer était né avec les premiers grands voyages de découvertes. Il s'achevait avec ceux de la fin du XVIIIe siècle et du commencement du XIXe. Ceux-ci furent la conséquence naturelle et presque nécessaire des très longs travaux à la suite desquels on avait trouvé des solutions pratiques à la redoutable question. Sa signification complète ressort de ce rapprochement, et il éclaire, en les réunissant dans un même ensemble, quelles que soient leurs différences, les deux grands élans qui portèrent les hommes, à trois siècles d'intervalle, à parcourir les océans, pour connaître le globe auquel ils sont attachés et en étudier les ressources. Il est le lien qui unit Colomb, Gama et Magellan d'une part, Cook, Lapérouse et Dumont d'Urville d'autre part.

(1) Beaucoup de positions déterminées pendant tous ces voyages sont encore conservées dans la plus récente des Tables des positions géographiques de la *Connaissance des Temps*.

TABLE DES CHAPITRES

ORLÉANS, IMP. H. TESSIER



